HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
(Organizadores)

ENGENHARIAS:
Criação e repasse de tecnologias



Atena Editora
Ano 2022

HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
(Organizadores)

ENGENHARIAS:
Criação e repasse de tecnologias



Atena
Editora
Ano 2022

Editora chefe
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Editora executiva
Natalia Oliveira
Assistente editorial
Flávia Roberta Barão
Bibliotecária
Janaina Ramos
Projeto gráfico
Camila Alves de Cremo
Daphynny Pamplona
Gabriel Motomu Teshima
Luiza Alves Batista
Natália Sandrini de Azevedo
Imagens da capa
iStock
Edição de arte
Luiza Alves Batista

Engenharias: criação e repasse de tecnologias

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharias: criação e repasse de tecnologias / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-0039-4
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.394222803

1. Engenharia. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. Título.
CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS

Atena Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

APRESENTAÇÃO

Na sociedade atual, onde cada vez mais se necessita de informações rápidas e eficientes, o repasse de tecnologias é uma das formas mais eficazes de se obter novas tendências mundiais. Neste cenário destaca-se as engenharias, as quais são um dos principais pilares para o setor empresarial. Analisar os campos de atuação, bem como pontos de inserção e melhoria dessa desta área é de grande importância, buscando desenvolver novos métodos e ferramentas para melhoria continua de processos.

Estudar temas relacionados a engenharia é de grande importância, pois desta maneira pode-se aprimorar os conceitos e aplicar os mesmos de maneira mais eficaz. O aumento no interesse se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral. Além disso a busca pela otimização no desenvolvimento de projetos, leva cada vez mais a simulação de processos, buscando uma redução de custos e de tempo.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de engenharia, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Boa leitura.

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

ESTUDO DE NOVAS TÉCNICAS CONSTRUTIVAS PARA AS HABITAÇÕES RIBEIRINHAS NO MUNICÍPIO DE AQUIDAUANA – MS

Data de aceite: 01/03/2022

Vitória Barros de Souza
Aquidauana – MS

RESUMO: As enchentes são desastres naturais que ocorrem com frequência no mundo todo e afetam as vidas de muitas pessoas, principalmente nos países em desenvolvimento e em centros urbanos, com tendência de aumento nas próximas décadas. O presente projeto de pesquisa tem como objetivo oferecer subsídios para melhor compreensão destes eventos, através dos resultados e experiências encontrados na literatura científica recente, e propor soluções já utilizadas em outros locais para as edificações que são construídas ao longo do Rio Aquidauana e que são atingidas pelas cheias do rio. O primeiro método a ser analisado na pesquisa será um método já implantado em outras localizações chamado casa anfíbia flutuante que utiliza em sua fundação várias camadas de EPS (poliestireno expandido). O segundo método a ser estudado é a casa anfíbia que já foi construída na cidade de Bangladesh, na Ásia, que consiste na construção da casa em três partes, a parte central será feita de tijolos e concreto, onde serão presos dois módulos laterais de bambu construídos sobre dois tanques, e dentro desses dois colchoes de garrafas pet usadas. O terceiro método pesquisado são de casas construídas em uma base de tubos flexíveis, conectados ao solo que flutua por até três metros sem se deslocar, esse formato permite que os moradores continuem em suas residências mesmo durante a cheia. Após o estudo dos três métodos expostos acima será possível concluir se os mesmos podem ser utilizados para os ribeirinhos da cidade de Aquidauana – MS.

PALAVRAS-CHAVE: Enchentes; Técnicas Construtivas; População Ribeirinha.

STUDY OF NEW CONSTRUCTION TECHNIQUES FOR RIVERSIDE HOUSINGS IN THE MUNICIPALITY OF AQUIDAUANA – MS

ABSTRACT: Floods are natural disasters that occur frequently around the world and affect the lives of many people, especially in developing countries and urban centers, with a tendency to increase in the coming decades. The present research project aims to provide subsidies for a better understanding of these events, through the results and experiences found in recent scientific literature, and to propose solutions already used in other places for the buildings that are built along the Aquidauana River and that are affected. by the floods of the river. The first method to be analyzed in the research will be a method already implemented in other locations called floating amphibious house that uses several layers of EPS (expanded polystyrene) in its foundation. The second method to be studied is the amphibious house that has already been built in the city of Bangladesh, in Asia, which consists of building the house in three parts, the central part will be made of bricks and concrete, where two bamboo side modules will be attached. built on two tanks, and inside these two mattresses of used PET

bottles. The third method researched are houses built on a base of flexible tubes, connected to the ground that floats for up to three meters without moving, this format allows residents to remain in their homes even during the flood. After studying the three methods exposed above, it will be possible to conclude whether they can be used for the riverside people of the city of Aquidauana - MS.
KEYWORDS: Floods; Constructive Techniques; Riverside population.

1 I INTRODUÇÃO

Dentre os vários impactos ambientais que afetam a vida de milhões de pessoas no mundo, as enchentes são exemplos de impactos que atingem a população ribeirinha do município de Aquidauana-MS. Os impactos são mais severos para determinados grupos populacionais e espaços geográficos mais vulneráveis, seja em países mais pobres ou mesmo nos países mais ricos. Suas causas e consequências, bem como as respostas e as ações para prevenção e mitigação vêm se tornando temas de grande interesse após inúmeros alertas da comunidade científica.

A cidade de Aquidauana teve sua formação em 1892 e sofreu grande influência positiva do rio (com o mesmo nome) uma vez que as embarcações traziam mercadorias para a população, além de transportar a produção local, sendo considerada a principal via de integração e acesso a outras regiões. Com isso, a ocupação se deu de imediato no entorno de suas margens (Joia; Anunciação, 2013, p. 7). A partir de então foi aumentando a ocupação irregular nas margens do rio, prejudicando a infiltração, favorecendo o escoamento mais veloz para o curso do rio, aumentando a vulnerabilidade das famílias em época de cheias.

2 I JUSTIFICATIVA

Criado em 1977, o Estado do Mato Grosso do Sul, localiza-se na região Centro-Oeste, apresentando uma população de 2.449.024 de habitantes (no último censo do ano de 2010) distribuídos em 79 municípios, dentre eles Aquidauana e Anastácio (IBGE ESTADOS/MS, 2016).

Perto do rio Aquidauana, a população ribeirinha do município de Aquidauana, sofre com as mudanças da estação, o clima da região apresenta duas estações bem definidas: cheia (de outubro a março) e seca (de abril a setembro).

Durante a estação de cheia muitas famílias ficam desabrigadas de suas casas e são acolhidas por escolas, quadras de esportes do munícipio, igrejas.

O desenvolvimento urbano da cidade de Aquidauana aconteceu com maior expressão nas proximidades do rio Aquidauana, transformando esse local na área urbana central (JOIA, 2005). Com o passar dos anos, houve a expansão da malha urbana e as áreas ribeirinhas com baixa altimetria foram gradativamente ocupadas, fator que tem

contribuído para o aumento da vulnerabilidade socioespacial por ocasião das cheias.

Assim, os agravantes de enchentes e alagamentos na cidade de Aquidauana são inerentes ao período sazonal de maior precipitação, ocasião em que a população residente em espaço mais próximo ao rio sente-se apreensiva quanto ao risco de inundações. Além disso, existem locais no ambiente urbano em que o terreno apresenta cotas altimétricas mais baixas em relação às vias de circulação, espaços também vulneráveis a alagamentos em períodos de precipitação intensa.

A cidade de Aquidauana sofre com os danos causados com a inundação, sendo que nos últimos anos “moradores que ocupam a borda do rio Aquidauana foi afetada todos os anos, visto que não houve intervalos de recorrência nas inundações, tendo ocorrido somente mudança na espacialidade dos eventos, acarretando magnitudes de intensidade média (2010, 2014), excepcional (2011), pequena (2012) e grande (2013) ”. (FERNANDES, 2015, p. 13).

O presente projeto de pesquisa tem como objetivo o estudo de três métodos construtivos já executados em outros locais para que sirvam como referência de possíveis sugestões de construções de casas às margens do Rio Aquidauana, evitando assim que a população tenha que sair das suas residências em épocas de cheia.

O primeiro método foi construído na Holanda, as fundações do edifício, feitas de várias camadas de EPS (poliestireno expandido) apoiadas no concreto. Isso faz com que o material permita ao edifício flutuar da mesma forma que um barco. Ela funciona da seguinte maneira: em situações de enchente, as pessoas que se encontram dentro da casa não têm contato imediato com a água caso ela seja alagada, pois a construção é apoiada em bases fixas nas quais se erguerá e flutuará, possibilitando que sua estrutura permaneça intacta. No jardim há ainda plataformas em diferentes posições, o que permite o alargamento gradual da área.

Escolhemos aprofundar as pesquisas no segundo método que é de uma casa fixada no chão, capaz de flutuar em dias de enchente, inibindo inundações. Em Bangladesh a primeira unidade foi construída numa comunidade que costuma sofrer com chuvas fortes e enchentes, e vem sendo testada há quatro anos, o LIFT house é “um projeto acessível para comunidades de baixa renda”.O mecanismo é simples, a casa é composta de três partes. A parte central, estática, é feita de tijolos e concreto e funciona como a espinha dorsal da edificação, responsável por mantê-la em pé. Presa a ela, há dois módulos laterais de bambu construídos sobre dois tanques, que têm estrutura de cimento e funcionam como fundação da casa. Dentro dos tanques, ficam colchões de garrafas pet usadas. Quando chove forte e o rio localizado perto da casa enche, a água invade os tanques e sua força levanta os colchões de pets e as duas laterais da casa. Assim, o imóvel flutua na água, ao invés de ser invadido por ela. Quando o nível da água baixa, a casa volta a seu lugar. Para evitar infiltrações, o piso recebeu tratamento especial. E a casa é ecologicamente correta: não pode ser conectada a sistemas convencionais de energia, água e esgoto,

devido à sua subida e descida; em vez disso, é movida a energia solar, possui banheiros de compostagem e coleta e reutiliza a água da chuva. “São necessárias 8.000 garrafas para a fundação de uma casa de dois andares para uma família”, disse Prosun. “O plástico durará mais que o resto do edifício, por isso é um material extremamente durável para a base flutuante”.Até agora, os projetos foram levantados até três pés do chão, mas podem ser construídos para flutuar mais alto de acordo com os níveis de inundação.

E, finalmente o terceiro método à ser estudado será uma construída na Inglaterra, que tem como autores os arquitetos Richard Coutts e Robert Barker, do escritório Baca Architects, que tem como apelido de “casa anfíbio”. Externamente o edifício é muito parecido com as residências tradicionais. O telhado é feito de zinco, as janelas cobrem as laterais e um jardim serve como área livre com a vista para o rio. Nos períodos de cheia é que o projeto se diferencia dos demais. Construída em uma base de tubos flexíveis, conectados ao solo, a casa flutua por até três metros de altura, sem se deslocar. O formato permite que os moradores continuem na residência mesmo durante a cheia e, mais importante, sem se preocupar com as inundações ou com a perda dos bens. Para os autores, casas flutuantes pré-fabricadas são alternativas eficientes para melhorar as condições de áreas afetadas por enchentes, ao mesmo tempo em que oferece oportunidade segura para aproveitar regiões pouco habitadas. A “Casa Flutuante” foi finalizada no início de 2015 e já passou com sucesso por testes de elevação do nível do rio.

3 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DO PROJETO DE PESQUISA

Segundo Tucci (2002), as enchentes ribeirinhas ocorrem por processos naturais do seu ciclo hidrológico, sendo que seu rio escoa pelo leito maior, quando a população ocupa este leito maior, ou seja, área de risco, os impactos são frequentes, e tem sua ocorrência relacionada à descaso quanto a restrição do uso de loteamento em áreas de risco, invasão de áreas ribeirinhas pertencente ao setor público, e ocupação de áreas de risco médio onde a frequência de ocorrência de cheia é menor.

Ainda Tucci (2002), lembra que os principais impactos a atingir a população ribeirinha são: perdas materiais e humanas; contaminação por doenças de veiculação por meio hídrico, tais como, leptospirose, cólera, dentre outros; e contaminação da água por inundação de depósitos tóxicos, estação de tratamento, etc.

4 | OBJETIVOS DO PROJETO DE PESQUISA

Objetivo geral

O presente projeto de pesquisa tem como objetivo o estudo de três processos executivos de casas que foram construídas às margens de rio em diferentes localizações, para que dentre esses três métodos possa ser verificado qual ou quais, melhor se adapta

aos métodos construtivos que existem na cidade de Aquidauana para que esse projeto possa ser utilizado em futuras construções, ou adaptações das casas já construídas.

Objetivos específicos

- Analisar três métodos executivos de casas construídas nas margens de rio que já foram executados em diferentes localizações.
- Verificar qual método ou quais métodos tem a melhor adequação as casas construídas no município de Aquidauana – MS.

5 | METODOLOGIA DO PROJETO DE PESQUISA

A pesquisa será desenvolvida no município de Aquidauana – MS, situado no Estado do Mato Grosso do Sul, na serra de Maracaju a 139 km da capital Campo Grande. Possui uma área de 16.970 km² com uma população de 47.784 habitantes (IBGE, 2018).

Para a realização da pesquisa será realizado um levantamento bibliográfico que, segundo Marconi e Lakatos (1992) a pesquisa bibliográfica é o levantamento de toda a bibliografia já publicada, em forma de livros, revistas, publicações avulsas e imprensa escrita. A sua finalidade é fazer com que o pesquisador entre em contato direto com todo o material escrito sobre um determinado assunto, auxiliando o cientista na análise de suas pesquisas ou na manipulação de suas informações, para ter mais dados sobre as enchentes que já aconteceram no município de Aquidauana, e dos três métodos já executados em diferentes localizações que sofrem com as enchentes, para posteriormente, propor a implantação de um, ou mais, dos métodos estudados para o município de Aquidauana.

6 | RESULTADOS ESPERADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Com esse projeto de pesquisa esperasse conhecer três técnicas construtivas de casas construídas às margens de rio: utilizando EPS em sua fundação, um segundo que utiliza bambu e garrafas pet, e um terceiro que tem como base tubos flexíveis. Após o estudo será possível concluir qual método, ou quais, método melhor se adapta aos métodos construtivos existentes na cidade de Aquidauana-MS para que esse projeto possa ser utilizado em futuras construções, ou adaptações das casas já construídas.

REFERÊNCIAS

Fernandes, E. F. de L. Representação socioespacial no baixo curso do Rio Aquidauana: estratégias educativas para gestão de desastres naturais. 2015.115 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Aquidauana, MS.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2018. **Panorama – Aquidauana/ MS**. Rio de Janeiro: IBGE.

JOIA, P.R; ANUNCIAÇÃO, V.S. **Inundações urbanas e vulnerabilidade socioespacial na cidade de Aquidauana**. Geografia (Londrina), v.22, n.2. p. 05-23, maio/ago. 2013.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Editora Atlas, 1992. 4a ed. p.43 e 44.

Tucci, Carlos E. M. Águas Urbanas, **Revista Estudos Avançados** 22 (63), 2008 ________. Gerenciamento da drenagem urbana. **X**, volume 7, nº1 Jan/Mar 2002, 5- 27.

CAPÍTULO 2

ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS DE INFILTRAÇÃO ASSOCIADAS AO SISTEMA CONVENCIONAL DE DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAL EM UM LOTEAMENTO DA CIDADE DE CATALÃO-GO

Data de aceite: 01/03/2022

Eliane Aparecida Justino
Universidade Federal de Catalão

Everton Vieira de Carvalho
Universidade Federal de Catalão

RESUMO: Os sistemas convencionais de drenagem de águas pluviais se apresentam subdimensionados ou mal projetados em diversas cidades brasileiras, assim, as inundações são frequentes nesses locais. Diante das ineficiências desses sistemas, surgiram com alternativas para solucionar os problemas de escoamentos excessivos, sem transferi-los para jusante, as técnicas compensatórias de drenagem de águas pluviais. Estas técnicas amortecem esses escoamentos através de armazenamento ou/e infiltração no solo. O presente trabalho simula as associações de trincheiras de infiltração e pavimentos permeáveis com o sistema convencional subdimensionado de um loteamento na cidade de Catalão, no estado de Goiás. Essas associações promoveram uma redução média de 40 ⁰0 nas áreas de contribuição para as redes de drenagem, consequentemente, permitiram diminuições médias de 44% e 17% nas vazões e diâmetros de projeto, respectivamente. Portanto, o sistema de drenagem de águas pluviais instalado no loteamento passaria a ser capaz de promover uma destinação eficiente dos escoamentos superficiais.

ABSTRACT: Conventional rainwater drainage systems are undersized or poorly designed in several Brazilian cities, thus flooding is frequent in these places. Faced with the inefficiencies of these systems, compensatory rainwater drainage techniques have emerged with alternatives to solve the problems of excessive runoff, without transferring them downstream. These techniques dampen these flows through storage or/and infiltration into the soil. The present work simulates the associations of infiltration trenches and permeable pavements with the undersized conventional system of a subdivision in the city of Catalão, in the state of Goiás. These associations promoted an average reduction of 40 0 0 in the areas of contribution to the drainage networks. , consequently, allowed average decreases of 44% and 17% in flow rates and design diameters, respectively. Therefore, the rainwater drainage system installed in the subdivision would be able to promote an efficient disposal of surface runoff.

1 I INTRODUÇÃO

O controle e proteção do meio ambiente urbano em detrimento a destinação do escoamento superficial de águas pluviais são grandes desafios das últimas décadas. O avanço do processo de urbanização provoca mudanças na ocupação e no uso do solo, o que determinam novas características para os sistemas de drenagem naturais e modificam os ciclos hidrológicos locais.

Foi no século XIX, devido à expansão urbana provocada pela Era Industrial que surgiram os panamenhos sistemas de drenagem

de águas pluviais, constituídos principalmente por canalizações. A preocupação com a destinação do escoamento superficial surgiu porque as águas pluviais começaram a ser consideradas como potencias veículos de transmissão de doenças, afetando gravemente a saúde pública, portanto, nasceu o conceito higienista, cujo principal objetivo era evacuar águas pluviais e esgoto o mais rápido possível (SOUZA, CRUZ e TUCCI, 2012). O conceito de sistema de drenagem de água pluvial higienista também é conhecido como sistema tradicional ou convencional.

Ao longo de décadas, as canalizações foram consideradas as intervenções mais comuns e eficazes para controlar os níveis de inundações, que costumavam ser amplificados pelos crescimentos das cidades. No entanto, desde 1970, a abordagem higienista para projetos de sistemas de drenagem urbana começou a ser questionada, por não se mostrar eficiente, e muito menos sustentável. Segundo Bahiense (2013), esta concepção de projeto de drenagem tende a aumentar as frequências de inundações, devido ao aumento do volume de escoamento superficial e diminuição de tempo de concentração, além de reduzir a recarga de águas subterrâneas.

Como alternativa ao conceito higienista, na década de 70, várias medidas que compensam as alterações de crescimento urbano no ciclo da água começaram a ser desenvolvidas no contexto de drenagem urbana, indo em direção à sustentabilidade. Essas medidas são chamadas de técnicas compensatórias ou medidas não convencional* e trazem como principais modificações os seguintes aspectos: adoção de técnicas de armazenamento e infiltração, atuando sobre as causas de inundações urbanas; introdução de controles distribuídos nas fontes geradoras do escoamento, recuperando os padrões de fluxos naturais e promovendo o desenvolvimento urbano com baixo impacto na hidrologia local; reconhecimento de aproveitamento de águas pluviais como um recurso valioso; integração entre as preocupações de quantidade e qualidade da água; e aumento do valor da terra urbana com comodidades relacionadas à presença de água nas cidades (BAPTISTA et al., 2005).

As técnicas compensatórias de drenagem de águas pluviais ainda são pouco utilizadas no Brasil, tendo como predominância a adoção de sistema convencional de drenagem urbana. Portanto, a ineficiência desse sistema somada com a falta de fiscalização e investimentos por parte do poder público, tem tornado cada vez mais frequentes as ocorrências de inundações em cidades de médio e grande porte. O município de Catalão, localizado no estado de Goiás, se enquadra nesse contexto.

Preocupados com as ocorrências de inundações no município de Catalão, este trabalho analisa a simulação das associações entre trincheiras de infiltração e pavimentos permeáveis com um sistema convencional de drenagem de água pluvial subdimensionado instalado em um dos seus loteamentos.

2 I DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O objeto de estudo desse trabalho é o sistema de drenagem de água pluvial do loteamento localizado nas coordenadas 18 0 10’57.46”S de latitude e 47 057’59.80” W de longitude. Este tem natureza residencial e comercial, com área total de 219.456,34 m2 declividade entre 15 a 30% e lotes com área de 360 m2, sendo no total de 260 lotes divididos em 20 quadras.

O projeto de sistema de drenagem de águas pluviais apresentado pelo empreendedor do loteamento à Prefeitura Municipal de Catalão foi analisado por Valente (2013). O autor constatou que esse sistema apresentava-se subdimensionado, pois foram encontrados equívocos, tais como, adoção de coeficientes de runoff inadequados e desconsideração de áreas de contribuição em trechos específicos da rede de drenagem. Redimensionando o sistema, foi encontrado um aumento médio das áreas de contribuição de 45,54%, o que gerou um aumento médio 84,84% nas vazões de projeto do loteamento, sendo assim, o sistema proposto pelo empreendedor é ineficiente.

Para solucionar os problemas de escoamentos superficiais excessivos que possam a vir a surgir devido à ineficiência do sistema de drenagem de águas pluviais, é proposta a simulação das associações entre trincheiras de infiltração e pavimentos permeáveis junto ao mesmo.

2.1 Locais de Implantação das Técnicas Compensatórias

Os locais de implantação das técnicas compensatórias foram escolhidos de forma a absorver parte dos escoamentos superficiais nos pontos críticos determinados por Valente (2013). Nesse contexto, de acordo com a Figura l, foi simulada instalações de trincheiras de infiltração ao longo da Rua l, que contribui para os trechos externos da rede (TE), TEI TE2, TE3, TE8, TE9, TEIO, TEII, TE12, TE13 e TE14, e ao longo do prolongamento da Avenida 37, que contribui para o TE8, TE9, TEIO, TE5 e TE6.



Figura 1 — Detalhe do Loteamento.

Os pavimentos permeáveis serão instalados nos estacionamentos e pátios das áreas destinadas às instalações de equipamentos comunitários, conforme Figura 2.

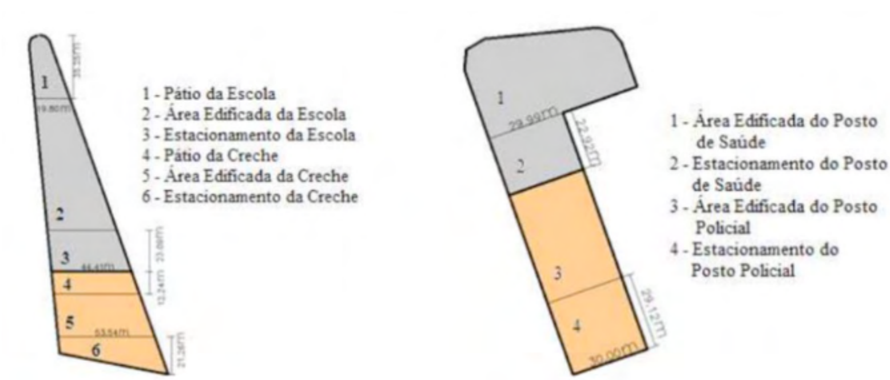


Figura 2 -Layouts Construtivos nas Área Institucionais 01 e 02.

2.2 Dimensionamento das Trincheiras de Infiltração

As trincheiras de infiltração utilizadas na simulação são as do tipo superficiais, constituídas de valas escavadas preenchidas por britas e uma manta geotêxtil, sendo cobertas por uma camada de 10 cm de areia e outra camada de 5 cm de seixo rolado, conforme recomendações de Urbonas e Stahre (1993). Esses dispositivos recebem os

escoamentos superficiais escoados pelos lotes e pelas vias, distribuindo-os verticalmente para as camadas inferiores do solo.

A quantidade de trincheiras de infiltração foi calculada, de acordo, com os acessos as garagens, portanto, foram obtidos os comprimentos das mesmas. Para determinações das suas larguras foi considerado o artigo 4 do Projeto de Lei NO 541 (BRASIL, 2011) que determina a largura mínima dos passeios igual a 1,2 m., Portanto, como os passeios do loteamento possuem larguras de 2,50 m, essas foram diminuídas para 1,35 m, sendo assim, as trincheiras terão larguras de 1,15 m, Figura 3 e Figura 4. Dessas dimensões foram determinadas as áreas das trincheiras, sendo chamadas de áreas calculadas.



Figura 3 — Disposição das Trincheiras de Infiltração.

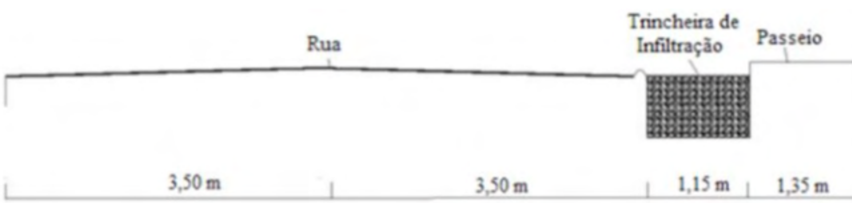


Figura 4 — Detalhe da Disposição das Trincheiras de Infiltração.

Já para determinação das áreas efetivas das trincheiras, primeiro utilizou-se o Método Racional para calcular as vazões de projeto, Q, e com essas determinaram os volumes de entrada das trincheiras de infiltração, V, pela Equação I.

$$V = Q \times T_c \quad (1)$$

Onde:

tc é tempo de concentração em segundos.

Obedecendo aos aspectos recomendados por Tomas (2010) e utilizando o método proposto pelo Estado de Maryland (2002) foram determinadas as profundidades das

trincheiras de infiltração, através da Equação 2.

$$dt = \frac{fxts}{n} \quad (2)$$

Onde:

dt é profundidade da trincheira, geralmente 0,90 m < dt < 2,40 m;

f é taxa final de infiltração, intervalo: 7,6 mm/h < f < 60 mm/›h;

ts é máximo tempo retenção, podendo variar de 24 h < ts < 48 h;

n= é porosidade da brita Nº 3, sendo o valor de 0,40.

A taxa de infiltração do solo foi adotada de acordo com os estudos realizados por Fiori *et al*. (2010), que determinou a condutividade hidráulica dos solos do estado de Goiás. Assim, o solo do loteamento ficou classificado como do Grupo 2, representado pelos latossolos, onde a condutividade hidráulica determinada no estudo varia na ordem de grandeza de 10^{-9} até 10^{-4} m/s. O valor adotado foi de $4{,}0x10^{-6}$m/s, sendo esse o valor médio. O tempo máximo de retenção do volume de *runoff* adotado foi de 48 horas para garantir maior filtração.

Após determinação das profundidades dos reservatórios, calculou-se as áreas efetivas das superfícies das trincheiras, At, pela Equação 3.

$$A_t = \frac{v}{(n \times d_t + f \times T)} \quad (3)$$

Onde:

T é o tempo para enchimento da trincheira que geralmente é < 2 h.

O tempo para enchimento das trincheiras de infiltração foi considerado de 2 horas, conforme Thomaz (2010). As áreas efetivas foram comparadas com as áreas calculadas.

2.3 Dimensionamento dos Pavimentos Permeáveis

Os pavimentos permeáveis utilizados na simulação foram os blocos de concreto poroso com reservatório. Segundo recomendações de Coutinho (2011), o perfil dos pavimentos porosos é constituído por uma geomembrana, coberta por de 5 cm de pó de pedra, sob o reservatório de brita, que é coberto por geotêxtil e uma camada de 10 cm de areia, e por fim, são assentados os blocos porosos, conforme Figura 5.

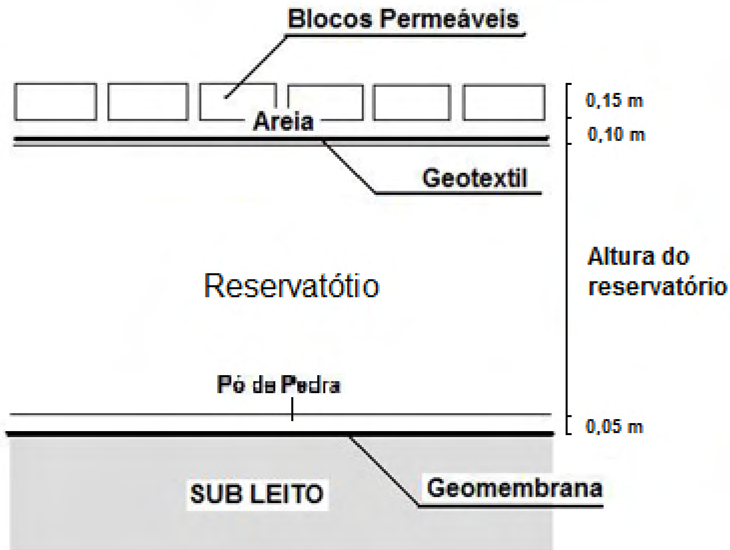


Figura 5 — Perfil dos Pavimentos Permeáveis.

Fonte: Adaptada de InterCity (2015).

Ressaltando que neste trabalho, os dimensionamentos se atêm apenas aos aspectos hidráulicos e hidrológicos, sem a verificação da estabilidade estrutural das técnicas utilizadas na simulação. Sendo assim, o método proposto por Tucci e Bertoni (2003) foi o utilizado para o dimensionamento dos pavimentos permeáveis, que considera apenas a infiltração vertical e obedece a certos aspectos. Os volumes de chuva a serem retidos, vr, são determinados pela Equação 4.

$$V_r = (i_p + C - i_e) \times t_d \qquad (4)$$

Onde:

ip é intensidade máxima da chuva de projeto (em mm/h);

ie é a taxa de infiltração do solo (em mm/h); td é o tempo de duração da chuva (em horas);

C é o fator de contribuição de áreas externas ao pavimento permeável, que pode ser estimado pela equação:

$$c = \frac{i_p \times A_c}{A_p} \qquad (5)$$

Onde:

AC é área externa de contribuição para o pavimento permeável;

Ap é área de pavimento permeável.

A taxa de infiltração média adotada foi de 4,0x10-6m/s, conforme Fiori et CII. (2010). A intensidade máxima da chuva foi calculada de acordo com a equação de chuva determinada por Justino et CII. (2010), para um período de retorno de 5 anos, pois trata de uma área com edifícios de serviços ao público, e o tempo de duração da chuva adotado foi de 60 minutos, conforme Thomaz (2010).

As áreas externas de contribuição para os pavimentos permeáveis são as áreas dos equipamentos comunitários, portanto, variam de acordo com as edificações propostas para cada um desses. Na Tabela I estão apresentadas as distribuições de ocupação das áreas de equipamentos comunitários, sendo que nas áreas edificadas são mantidas 20% de áreas permeáveis, conforme Artigo 6 ^{0} do Plano Diretor do Município de Catalão. Como os pavimentos permeáveis serão instalados nos pátios e estacionamentos, as áreas destas estruturas são as mesmas dos locais.

Equipamentos Comunitários		Área (m²)		Área permeável (m²)	Área de pavimento permeável (m²)
Área 1	Escola	Edificada	2.141	428	-
		Pátio	552,9	-	552,9
		Estacionamento	954	-	954
	Creche	Edificada	1.189	237	-
		Pátio	569	-	569
		Estacionamento	845	-	845
Área 2	Posto de saúde	Edificada	1.876	375	-
		Estacionamento	687	-	687
	Posto Policial	Edificada	1.318	263	-
		Estacionamento	873	-	837

Tabela 1 - Distribuição das Áreas de Equipamentos Comunitários.

Determinados os volumes drenados para os pavimentos permeáveis, foram calculadas as profundidades dos seus reservatórios de pedras, H, pela Equação 6.

$$H = \frac{v_r}{f} \qquad (6)$$

Onde:

f é a porosidade da brita N^{O} 3, sendo o valor de 0,40.

Dimensionadas as técnicas compensatórias de drenagem de água pluvial propostas, promoveu-se a simulação das associações dessas com o sistema de drenagem convencional. As áreas de contribuição para as redes de drenagem e vazões de projeto encontradas na simulação foram comparadas as determinadas por Valente (2013), bem como, foram comparados os diâmetros da rede de drenagem encontrados com os determinados por Valente (2013) e os instalados no loteamento pelo empreendedor.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Dimensionamento das Trincheiras de Infiltração

As trincheiras foram simuladas na Rua I e Avenida 37, pois estas apresentam declividades médias iguais a 1,25 % e 2,27%, respectivamente, respeitando a declividade máxima de 5 ⁰ 0, recomendada por Baptista et al. (2005). Foram previstas 60 trincheiras, com larguras de 1,15 m e profundidades de 1,73 m. Lembrando que para auxiliar na remoção de finos, ou seja, prevenir colmatação das trincheiras é necessário instalar acima do reservatório de brita, um filtro de areia grossa com 0,10 m de espessura e sobre esse uma camada de seixo rolado, com espessura de 0,05 m para melhorar o aspecto paisagístico, Figura 6.

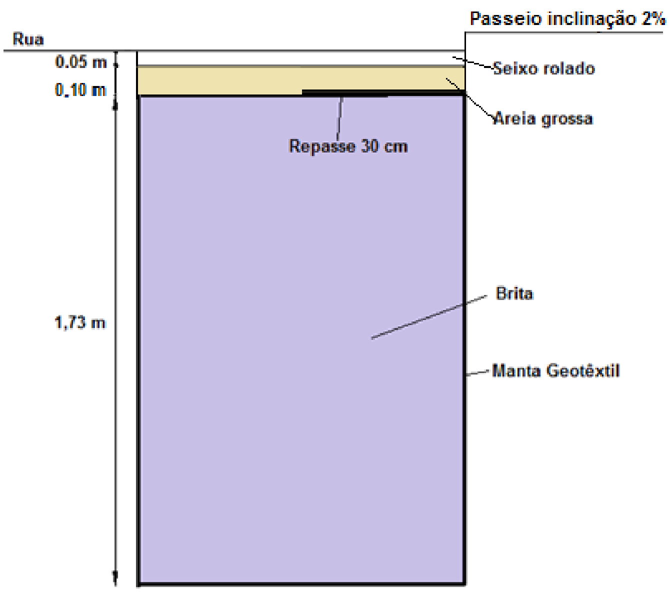


Figura 6 — Corte da Trincheira de Infiltração.

As profundidades das trincheiras de infiltração iguais a 1,73 m atendem as recomendações proposta por Thomaz (2010), que definem a profundidade máxima inferior a 2,40 m e a distância mínima do fundo da trincheira ao lençol freático de 1,20 m. O município de Catalão apresenta profundidade média de 6 m para o lençol freático.

Para que as trincheiras de infiltração consigam absorver seus volumes de entrada as áreas efetivas devem ser maiores que as áreas calculadas. A Tabela 2 apresenta as comparações entre essas áreas.

Trincheira de Infiltração	Comprimento (m)	Área efetiva (m²)	Área calculada (m²)	Trincheira de Infiltração	Comprimento (m)	Área efetiva (m²)	Área calculada (m²)
TI1	18,00	20,70	9,64	TI31	39,40	45,31	10,54
TI2	18,00	20,70	9,15	TI32	39,40	45,31	13,50
TI3	18,00	20,70	10,33	TI33	32,60	37,49	18,09
TI4	18,00	20,70	10,26	TI34	18,00	20,70	18,91
TI5	13,74	15,80	11,56	TI35	18,00	20,70	15,89
TI6	18,00	20,70	5,75	TI36	18,00	20,70	13,29
TI7	18,00	20,70	4,96	TI37	39,40	45,31	11,13
TI8	18,00	20,70	16,84	TI38	39,40	45,31	11,21
TI9	18,00	20,70	10,46	TI39	16,20	18,63	7,67
TI10	18,00	20,70	9,98	TI40	13,00	14,95	8,82
TI11	18,00	20,70	10,33	TI41	14,60	16,79	8,59
TI12	18,00	20,70	15,70	TI42	13,00	14,95	6,41
TI13	18,00	20,70	6,57	TI43	14,70	16,91	10,58
TI14	13,30	15,30	4,99	TI44	18,00	20,70	14,03
TI15	18,00	20,70	16,56	TI45	18,00	20,70	17,05
TI16	18,00	20,70	11,13	TI46	17,60	20,24	9,18
TI17	18,00	20,70	11,42	TI47	14,40	16,56	5,9
TI18	18,00	20,70	9,67	TI48	18,00	20,7	7,1
TI19	10,30	11,85	9,09	TI49	12,70	14,6	6,0
TI20	18,00	20,70	4,29	TI50	18,00	20,7	5,64
TI21	18,00	20,70	3,44	TI51	13,00	14,9	6,34
TI22	18,00	20,70	15,38	TI52	14,60	16,79	6,30
TI23	13,60	15,64	10,52	TI53	18,00	20,70	6,29
TI24	15,00	17,25	9,47	TI54	18,00	20,70	13,55
TI25	18,00	20,70	9,78	TI55	18,00	20,70	13,38
TI26	7,76	8,92	8,81	TI56	18,00	20,70	13,87
TI27	18,00	20,70	4,66	TI57	15,30	17,60	9,44
TI28	18,00	20,70	8,45	TI58	15,80	18,17	8,60
TI29	18,00	20,70	5,85	TI59	18,00	20,70	6,95
TI30	39,40	45,31	16,59	TI60	18,00	20,70	8,90

Tabela 2 – Comparação entre Áreas Efetivas e Áreas Calculadas das Trincheiras.

Quando se analisa a Tabela 2, percebe-se que todas as áreas efetivas são maiores que as áreas calculadas, portanto, todas as trincheiras de infiltração previstas na simulação conseguiram absorver seus volumes de entrada.

3.2 Pavimentos Permeáveis

Os pavimentos permeáveis foram previstos nos pátios e estacionamentos das áreas I e 2 de equipamentos comunitários. A planilha de dimensionamento resumida está apresentada na Tabela 3.

Elemento	Área de Pavimento Permeável (m^2)	Área Externa de Contribuição para o Pavimento Permeável (m^2)	Profundidade do Reservatório de Pedras (m)	Profundidade Adotada do Reservatório de Pedras (m)
Pátio da Escola	502,90	0	0,15	0,15
Estacionamento da Escola	954,00	2141	0,36	0,36
Pátio da Creche	569,00	0	0,15	0,15
Estacionamento da Creche	845,00	1189	0,26	0,26
Estacionamento do posto de Saúde	687,00	1876	0,42	0,42
Estacionamento do Posto Policial	873,00	1318	0,27	0,27

Tabela 3 - Dimensionamento dos Pavimentos Permeáveis.

No dimensionamento dos pavimentos permeáveis previstos nos pátios da escola e da creche foram encontradas profundidades do reservatório de pedra menores que a mínima indicada por Tucci e Bertoni (2003). Portanto, as profundidades dos reservatórios de pedra adotadas para esses locais foram de 0,15 m.

3.3 Dimensionamento da Rede de Drenagem Antes e Depois da Associação com as Técnicas Compensatórias

Como as áreas de contribuição de escoamentos superficiais das técnicas compensatórias adotadas não mais contribuirão para os trechos externos das redes de drenagem, esses receberão um menor quantitativo desses escoamentos. Na Tabela 4 estão apresentadas as relações das diferenças de áreas de contribuição para os trechos externos de rede de drenagem determinadas por Valente (2013) e as obtidas com a simulação.

Trechos Externos	Áreas de Contribuição Valente 2013 m:	Áreas de Contribuição da Simulação m	*Relações das Áreas %
TEI	12010,85	7043,11	41
TE2	28179,27	12305,62	56
TE3	94501,86	62867,84	33
TE4	97701,86	66067,84	32
TES	97701,86	66067,84	32
TE6	97701,86	66067,84	32
TE7	51024,78	28901,11	43
TES	51024,78	28901,11	43
TE9	51024,78	28901,11	43
TEIO	51024,78	28901,11	43
TEII	51024,78	28901,11	43
TE12	171508,64	112349,25	34
TE13	171508,64	112349,25	34
Média			40

Tabela 4 — Relações de Áreas de Contribuição para os Trechos Externos das Redes.

Os resultados apresentados na Tabela 4 mostram que para todos os trechos externos da rede de drenagem haverá diminuição de áreas de contribuição de escoamento superficial, apresentando uma redução média de 40%. Dessa redução, as trincheiras de infiltração são responsáveis por 82,52% do valor total, enquanto os pavimentos permeáveis respondem por 17,48%.

Como as vazões de projeto são diretamente proporcionais às áreas de contribuição de escoamento superficial, essas também sofrerão alterações. Na Tabela 5 estão mostradas as relações das diferenças de vazões determinadas por Valente (2013) e as obtidas na simulação.

Trechos Externos	**Vazões de Projeto Antes da Implantação das Técnicas Compensatórias (m^3/s)**	**Vazão de Projeto Após Implantação das Técnicas Compensatórias (m^3/s)**	***Relação das Vazões (%)**
TE1	0,440	0,236	46
TE2	0,975	0,394	59
TE3	3,140	1,950	38
TE4	3,170	2,000	37
TE5	3,140	1,994	37
TE6	3,105	1,975	36
TE7	1,610	0,859	47
TE8	1,555	0,834	47
TE9	1,444	0,783	47

TE10	1,433	0,778	47
TE11	1,416	0,770	47
TE12	4,684	2,889	38
TE13	4,617	2,853	40
Média			**44**

*Relação das Vazões mostra o quociente da diferença das vazões de projeto (vazões de projeto antes da implantação das técnicas compensatórias menos as vazões de projeto calculadas após a implantação das técnicas compensatórias) pelas vazões de projeto antes da implantação das técnicas compensatórias.

Tabela 5 - Relações das Vazões de Projeto.

Os valores dos diâmetros das redes determinados na simulação foram comparados com os valores obtidos por Valente (2013) e pelo empreendedor. Na Tabela 6 e na Figura 7 estão apresentados os resultados.

Trechos Externos	Diâmetros Determinado Empreendedor (mm)	Diâmetros Determinado Valente (2013) (mm)	Diâmetro Determinado Após Aplicação das Técnicas Compensatórias (mm)	[1]Relação dos Diâmetros (Empreendedor) (%)	[2]Relação dos Diâmetros (Valente (2013) (%)
TE1	500	600	500	0	17
TE2	500	600	500	0	17
TE3	800	900	800	0	11
TE4	800	1000	800	0	20
TE5	800	1000	800	0	20
TE6	800	1000	800	0	20
TE7	800	1000	800	0	20
TE8	1000	1200	1000	0	17
TE9	1000	1200	1000	0	17
TE10	1000	1200	1000	0	17
TE11	1000	1200	1000	0	17
TE12	1000	1200	1000	0	17
TE13	1000	1200	1000	0	17
Média				**0**	**17**

1 [2]Relação dos Diâmetros mostra o quociente da diferença dos diâmetros (diâmetros determinados pelo empreendedor menos os diâmetros calculados após a implantação das técnicas compensatórias) pelos diâmetros determinados pelo empreendedor.

[2]Relação dos Diâmetros mostra o quociente da diferença dos diâmetros (diâmetros determinados por Valente menos os diâmetros calculados após a implantação das técnicas compensatórias) pelos diâmetros determinados por Valente.

Tabela 6 - Relações de Diâmetros da Rede.

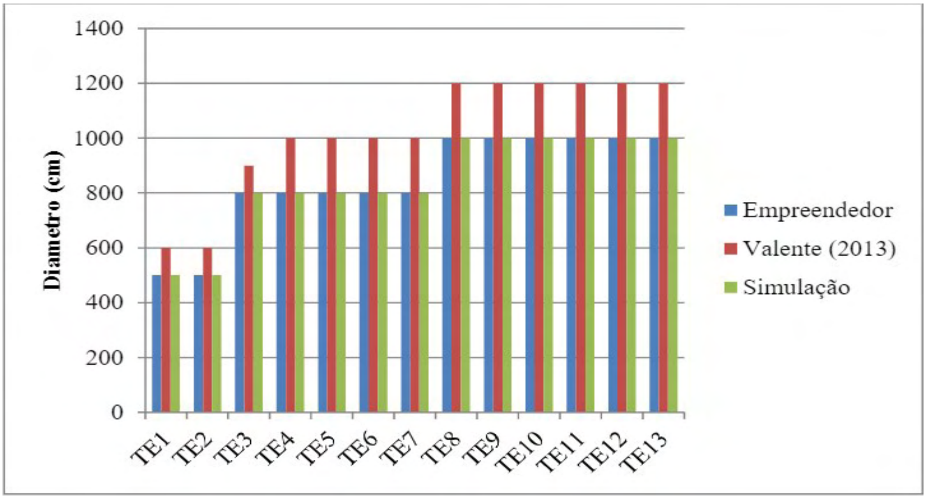


Figura 7 — Comparação entre os Diâmetros da Rede de Drenagem.

Quando se compara os valores de diâmetros das redes encontrados na simulação com os determinados por Valente (2013), percebe-se que esses diminuíram para todos os trechos, apresentando uma redução média de 17%. E quando se compara os valores encontrados na simulação com os valores determinados pelo empreendedor, observa-se que os diâmetros são os mesmos em todos os trechos externos. Isto se justifica pelo fato das vazões de projeto serem próximas e também pela adoção de diâmetros comerciais imediatamente superiores aos calculados.

4 I CONCLUSÕES

Este trabalho mostra que as técnicas compensatórias podem ser boas opções para sanar os problemas de escoamentos superficiais excessivos que têm assolado a maioria das cidades brasileiras. As associações de trincheiras de infiltração e pavimentos permeáveis com o sistema de drenagem convencional subdimensionado instalado na cidade de Catalão, promoveram uma redução média de 40% nas áreas de contribuição para os trechos externos das redes de drenagem de águas pluviais, consequentemente, permitiram diminuições médias de 44% e 17% nas vazões de projeto e diâmetros dessas redes, respectivamente. Sendo assim, o sistema de drenagem de águas pluviais passaria a ser capaz de promover uma drenagem eficiente dos escoamentos.

As técnicas compensatórias adotadas do tipo infiltração podem além de amortecer as vazões de picos, promoverem a recarga dos aquíferos, sendo medidas importantes, no cenário de redução do montante de águas superficiais de abastecimento ocorrido nos últimos anos no Brasil.

REFERÊNCIAS

BAHIENSE, J. M. (2013) Avaliação de Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana Baseadas no Conceito de Desenvolvimento de Baixo Impacto com o Apoio de Modelagem Matemática. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. (2005) Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos -ABRH.

BRASIL. Projeto de Lei do Senado Nº 541, 2011. Altera a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, e a Lei nº 10.098, de 19 de dezembro de 2000, dispondo sobre a acessibilidade nos passeios públicos. Disponível em: http:/ www.senado.gov.br/atividade materia/getPDF.asp?t=95696&tp=l>. Acesso em: 27 jun. 2016.

CATALÃO. Lei nº 2.210, de agosto de 2004. Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável Urbano e Ambiental de Catalão. Disponível em: <http: www.catalao.go.gov.br/static/media/uploads/leismunicipais/Plan0º 020Diretor%2020 04/1ei 2210-2004_plano diretor.pclf>. Acesso em: 30 mar. 2015.

COUTINHO, A. P. (2011) Pavimento Permeável como Técnica Compensatória na Drenagem Urbana da Cidade do Recife. Universidade Federal de Pernambuco. Recife.

FIORI, J. P. 0.; CAMPOS J. E. G.; ALMEIDA; L. (2010) Variabilidade da Condutividade Hidráulica das Principais Classes de Solos do Estado de Goiás. Universidade Estadual Paulista. São Paulo.

INTERCITY-EMPRESASCITY.(2015) Pisos Intertravados, Guias e Blocos. Disponível em: http://www.intercity.empresascity.com.br/sustentabilidade. Acessado em: 15 de maio de 2015.

JUSTINO, E. A.; VALE, M. Y. R.; VALENTE, J. A; GOMES, G. C; PAULA, H.M. (2010) Atualização da Equação de Chuva do Município de Catalão-GO, UFG-GO. Catalão.

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. (2012) Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Aguas Urbanas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 17, n. 2, abr./jun. 2012.

STATE OF MARYLAND. Maryland Stormwater Design Manual. (2000) Volumes 1 & II. Prepared by Center for Watershed Protection and the Maryland Department of the Environment. United States of America.

THOMAZ, P. (2010) Curso de Manejo de Aguas pluviais. São Paulo.

TUCCI E. M. C.; BERTONI J. C.(2003) Inundações Urbanas na América do sul. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre.

URBONAS, B; STAHRE, D. (1993) Stornwater: Best Management Pratices and Detention for Water Quality. Englewood Cliffs: Prentice Hall.

VALENTE J. A. (2013) Análises e Considerações para o Sistema de Drenagem de Agua Pluvial em um Loteamento na Cidade de Catalão-GO. Universidade Federal de Goiás. Catalão.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE ESTRUTURAL EM FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS CONSIDERANDO A INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Data de aceite: 01/03/2022
Data de submissão: 11/01/2022

Davidson de Oliveira França Júnior
Departamento de Engenharia Civil, Universidade UNA de Catalão – *Campus* Santa Cruz
Catalão – GO
https://orcid.org/0000-0001-8822-7178

Michele Martins Arruda
Departamento de Engenharia Civil, Universidade UNA de Catalão – *Campus* Santa Cruz
Catalão – GO
https://orcid.org/0000-0002-2093-6231

Jéssica Ferreira Borges
Departamento de Engenharia Civil, Universidade UNA de Catalão – *Campus* Santa Cruz
Catalão – GO
https://orcid.org/0000-0002-1535-1992

Paola Mundim de Souza
Departamento de Engenharia Civil, Universidade UNA de Catalão – *Campus* Santa Cruz
Catalão – GO
http://lattes.cnpq.br/5086463345621623

RESUMO: O presente trabalho traz análises de simulações estruturais de uma fundação rasa e direta, do tipo sapata, desacoplada e acoplada com solo, através do método dos elementos finitos (MEF) por meio do *software* ANSYS. A interação solo-estrutura (ISE) é feita através da discretização do solo por um meio contínuo. Além disso, no efeito acoplado solo-estrutura foram incluídas nas modelagens diferentes camadas e tipos de rigidez de solos, impondo uma heterogeneidade (não linearidade física) e geométrica no sistema. Os resultados foram investigados em termos de análises globais, bem como de deslocamentos e tensões no conjunto solo-estrutura, a fim de fornecer uma melhor visualização dos bulbos de tensões e no entendimento dos aspectos relacionados a modelagem do conjunto solo-estrutura.

PALAVRAS-CHAVE: Interação Solo-Estrutura, Sapata, Simulação Estrutural, Método dos Elementos Finitos.

STRUCTURAL ANALYSIS IN SHALLOW FOUNDATIONS CONSIDERING SOIL-STRUCTURE INTERACTION BY THE FINITE ELEMENT METHOD

ABSTRACT: The present work presents analysis of structural simulations of a shallow and direct foundation (pad footing), uncoupled and coupled with soil, through the finite element method (FEM) using ANSYS software. The soil-structure interaction (ISE) is done through soil discretization by a continuous environment. Furthermore, in the coupled soil-structure effect, different soil layers and types of soil stiffness were included in the modeling, imposing a heterogeneity (physical non-linearity) and geometric in the system. The results were investigated in terms of global analysis, as well as displacements and stresses in the soil-structure set, in order to provide a

better visualization of the stress fields and in the understanding of aspects related to the modeling of the soil-structure set.
KEYWORDS: Soil-Structure Interaction, Pad footing, Structural Simulation, Finite Element Method.

1 I INTRODUÇÃO

As fundações podem ser definidas como elementos estruturais cuja função é transmitir as cargas da estrutura para a camada do solo até atingir a resistência necessária. De acordo com a ABNT NBR 6122 (2019), as fundações podem classificadas quanto a profundidade da cota de apoio em rasas ou profundas, ou ainda, diretas e indiretas, que diferem entre si na forma como o solo recebe esta carga a ele transmitida.

Considerando que a fundação é um elemento que realiza a transição de cargas entre a estrutura e o solo, seu comportamento está diretamente ligado ao que acontece com o solo quando submetido a um carregamento. Assim, o conjunto estrutural entre fundação e solo reflete um problema de interação solo-estrutura (ISE), envolvendo uma complexidade particular na área da engenharia estrutural (MILITITSKY et al., 2015).

De acordo com Velloso e Lopes (2011), toda fundação sofre deslocamentos verticais (recalques), horizontais e rotações em função das cargas a que são submetidas. Esses deslocamentos são resultados de aspectos dependentes do solo, da estrutura da fundação e do efeito combinado da interação solo-estrutura.

A análise estrutural em estruturas de fundações pode ser feita basicamente através de métodos analíticos ou métodos numéricos. O método dos elementos finitos (MEF) é um método numérico usado para encontrar soluções aproximadas de problemas envolvendo fenômenos regidos por equações diferenciais e que satisfazem determinadas condições de contorno. Este método divide o domínio estrutural em finitas partes de elementos de solução conhecida e aproximada. No âmbito da Engenharia Estrutural, o MEF tem como objetivo determinar o comportamento estrutural (estado de tensão, deslocamentos, deformações, esforços etc.) de um sólido com geometria arbitrária submetido a ações exteriores (LOPES, 2003; SORIANO, 2009).

No caso de problemas de ISE a modelagem do conjunto acoplado solo-estrutura é mais complexa, pois o solo é um meio descontínuo e heterogêneo, que possui não linearidades físicas e geométricas. Além disso, o solo é um meio infinito que pode ser representado como meio finito nas modelagens através do MEF (SORIANO, 2009).

No decorrer dos anos alguns pesquisadores abordaram sobre a simulação estrutural com a ISE e ainda o fazem atualmente, tais como podemos mencionar os trabalhos de Vitoreti (2003) que realizou uma análise da interação solo-estrutura em fundações de concreto armado pelo método dos elementos finitos. Lopes (2003) que apresentou uma análise estática e dinâmica de problemas de interação solo-estrutura por meio do MEF.

Antoniazzi (2011) e, posteriormente, Silva (2019) que estudaram a interação solo-estrutura aplicada em edifícios com fundações superficiais.

Uma vez que a temática citada envolve aspectos relacionados a ISE através do MEF, o presente trabalho teve como objetivo realizar simulações estruturais de uma fundaç**ão** rasa e direta do tipo sapata, desacoplada e acoplada com solo, através do MEF por meio do *software* ANSYS. São incluídas nas análises diferentes camadas de solo com propriedades mecânicas distintas e com diferentes configurações geométricas, impondo assim uma não linearidade física e geométrica para analisar o desempenho do conjunto solo-estrutura, visto que é uma análise de alta complexidade e que impõe comportamentos particulares. Assim, os resultados foram investigados em termos de análises globais, bem como de deslocamentos e tensões no conjunto solo-estrutura, a fim de fornecer uma melhor visualização e entendimento dos aspectos relacionados a modelagem e aos efeitos estruturais em fundações superficiais.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Fundações superficiais do tipo sapatas

Toda obra de engenharia é constituída por duas partes: superestrutura que geralmente é composta por lajes, vigas e pilares, e a infraestrutura que é composta por elementos estruturais que são geralmente construídos abaixo do solo. A infraestrutura é responsável por transmitir todas as cargas e ações que atuam na edificação para o solo (VELLOSO E LOPES, 2011).

De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2019), a sapata é um elemento de fundação rasa de concreto armado, que é dimensionado para resistir tensões de compressão através do concreto e as tensões de tração através da armadura. As sapatas absorvem preponderantemente esforços de compressão e momentos fletores, transmitindo-os ao solo através do efeito da flexão, característica estrutural particular desse elemento (ALONSO, 2019).

Quanto ao aspecto estrutural das sapatas, a NBR 6118 (2014) afirma que elas podem ser rígidas ou flexíveis. As rígidas são menos deformáveis e menos sujeitas à ruptura por punção. As flexíveis têm altura “pequena” e são mais deformáveis. Segundo Bastos (2019), a tensão na interface na área da base de uma sapata é um dos fatores primordiais no projeto de sapatas e depende de diversos fatores, tais como: existência de excentricidade do carregamento aplicado, intensidade de possíveis momentos fletores aplicados, rigidez da fundação, propriedades do solo e rugosidade da base da fundação.

Do ponto de vista na interface solo-estrutura, a distribuição de tensões no solo aplicadas em uma sapata carregada concentricamente em função do tipo de solo e da rigidez da sapata (rígida ou flexível) é complexa e não linear (veja Figura 1), mas basicamente

pode-se dizer que em sapatas rígidas apoiadas sobre solos mais granulares (ex. areia) a pressão é maior no centro e diminui em direção às bordas da sapata. Em contrapartida, no caso de solos argilosos a pressão é maior nas proximidades das bordas e menor no centro. Em sapatas flexíveis a distribuição de tensões depende do nível de rigidez da sapata em relação ao solo. Assim, a rigidez do solo e da estrutura modifica a distribuição das tensões na ISE (BASTOS, 2019).

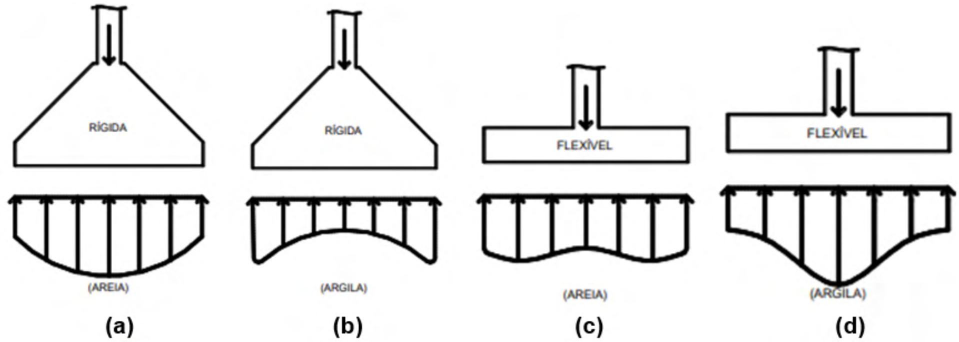


Figura 1 – Distribuição de pressão no solo em sapata sob carga centrada: (a) sapata rígida sobre areia; (b) sapata rígida sobre argila; (c) sapata flexível sobre areia; (d) sapata flexível sobre argila (Adaptada de Bastos, 2019).

Através da Figura 1 é possível observar que a distribuição de tensão (pressão) na base de uma sapata é complexa. Neste trabalho são abordadas situações a partir de sapatas sob diferentes tipos de solos (mais rígidos e menos rígidos).

2.2 Recalques nas fundações

Recalque é um termo da engenharia, definido por Cintra et al. (2011) como o deslocamento vertical para baixo ou rebaixamento da estrutura, devido ao adensamento ou acomodação do solo abaixo dela. De acordo com Milititsky et al. (2015), o recalque em fundações pode fazer com que a fundação afunde gravemente.

O recalque é chamado de total quando ocorre em todas as fundações, e recalque diferencial quando ocorre somente em alguns dos elementos de apoio ou quando ocorre com diferentes intensidades em cada um deles. Os três tipos de recalque mais comuns, no ponto de vista estrutural são: recalque uniforme, diferencial com distorção uniforme e diferencial com distorção angular (MILITITSKY, 2015).

Cintra et al. (2011) pontua que se o solo fosse homogêneo, as sapatas fossem com a mesma dimensão e as cargas aplicadas fossem iguais, os recalques seriam praticamente uniforme em todas as edificações, porém a variabilidade do solo gera recalques desiguais. Além disso, o tamanho das bases das sapatas em uma edificação, pode variar bastante, uma vez que as cargas nos pilares são diferentes, o que é uma causa adicional de recalque diferencial, uma vez que o solo é heterogêneo e pode mudar em um mesmo

terreno. Neste trabalho os recalques imediatos são investigados em conformidade com diferentes situações do solo para estrutura de sapata. Os imediatos são possíveis de serem avaliados sob ponto de vista estrutural, uma vez que o meio elástico discretizado fornece possibilidades para tal.

2.3 Modelagem da interação solo-estrutura (ISE)

Para Colares (2006), o termo interação solo-estrutura compreende um vasto campo de estudo que engloba todos os tipos de estrutura em contato com o solo. De uma forma geral, segundo Guerra e Sales (2011), um dos desafios nos projetos de estruturas e fundações, é a modelagem do comportamento de solo perante a estrutura. Ao considerar a interação entre o solo e a infraestrutura, é preciso observar o comportamento do solo ao receber a sobrecarga.

Antoniazzi (2011) afirma que, atualmente, a justificativa de não considerar a ISE nos projetos, está na hipótese de que as reações que surgem no apoio da estrutura provêm de base consideradas rígidas. Esta hipótese tem uma valia pois os esforços devem passar pela fundação antes de serem absorvidas pelo solo, ou seja, as infraestruturas são rígidas, com a garantia de que não haverá deslocamento na base dos pilares. Entretanto, na prática, quando o solo é submetido a uma carga derivada de uma edificação poderá sofrer um adensamento, e o comportamento é diferente do que foi idealizado no projeto.

A análise da ISE pode ser representada por meio de molas elásticas ou um meio elástico, ambos aplicados no contorno estrutura-solo, levando em consideração as propriedades mecânicas do maciço e a compatibilização dos recalques, ou ainda pela imposição de deslocamentos verticais estimados. No caso de edificações, alguns fatores podem influenciar na interação solo-estrutura, dos quais podemos citar o número de pavimentos da edificação, influência de rigidez dos primeiros pavimentos, o processo de construção da edificação, edificações vizinhas, rigidez relativa estrutura-solo, diversas cargas atuantes, entre outros (ANTONIAZZI, 2011).

Para representação do solo, Velloso e Lopes (2011) citam dois modelos principais, sendo eles o Método de Winkler e o Meio Contínuo (Figura 2).

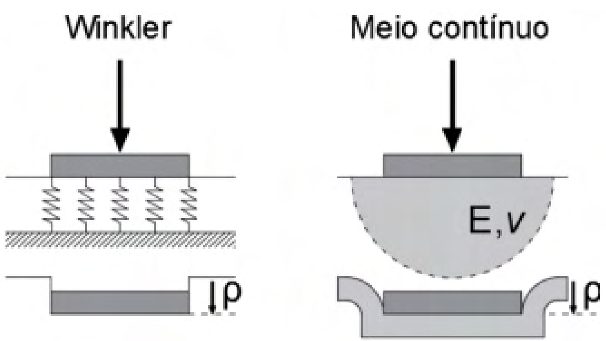


Figura 2 – Comparação entre o Método de Winkler e Meio Contínuo.

Fonte: MENDES, 2016.

Em 1867, Winkler propôs um modelo onde admite-se que, as cargas aplicadas na superfície do solo geram deslocamentos somente no ponto de aplicação, ou seja, não é considerado o efeito da continuidade do meio. Com isso, foi sugerido que um sistema de molas com rigidez equivalentes substituísse o maciço do solo, surgindo o modelo de Winkler, um método simplificado para se considerar a interação solo-estrutura (MENDES, 2016). Em contrapartida, de acordo com Velloso e Lopes (2011) o meio contínuo pode ser elástico ou elastoplástico.

Cintra et al. (2011) citaram que no modelo de Winkler a análise pode ser realizada através da separação da fundação e da superestrutura, que tem como objeto a obtenção de uma estrutura final de equilíbrio mediante a conformidade entre os deslocamentos. No modelo contínuo pode ser realizada uma análise conjunta entre a superestrutura e a fundação, resultando em uma única estrutura, em que a estrutura de fundação interage com o maciço de solo. Por ambos os métodos, o objetivo é de obter os valores de esforços e de deslocamentos no conjunto solo-estrutura. Para analisar o meio contínuo, as soluções para a interação solo-estrutura podem ser encontradas através da teoria da elasticidade ou por meio de soluções numéricas, sendo o método dos elementos finitos adequado para tal.

A análise pelo MEF, basicamente consiste em dividir o modelo estrutural em diversas partes com dimensões menores, denominados elementos finitos, substituindo um problema complexo por diversos problemas simples, que podem ser resolvidos simultaneamente. Os elementos compartilham pontos em comum, que são denominados de nós, e processo de subdivisão dos modelos em pequenas partes é chamado de geração de malha de elementos finitos. Na discretização o contorno entre domínios, a forma geométrica e a conectividade entre os nós, são fatores primordiais para a discretização pelo método dos elementos finitos (SORIANO, 2009).

Os elementos finitos podem variar entre unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais, variando a quantidade de pontos nodais. A escolha de cada tipo de elemento finito deve ser condizente com a geometria a ser simulada. As equações de cada elemento finito são chamadas de funções interpoladoras e, geralmente, são polinômios que assumem e representam um campo de deslocamentos para o elemento de forma aproximada. Ao integrar tais funções e montar sistemas na forma matricial para o domínio estrutural completo global tem-se a resposta de toda estrutura (COOK, 1995).

3 | METODOLOGIA

3.1 Etapas da pesquisa

Neste tópico é apontada a sequência da pesquisa utilizada neste trabalho, com as

etapas desenvolvidas e apresentadas no fluxograma da Figura 3:

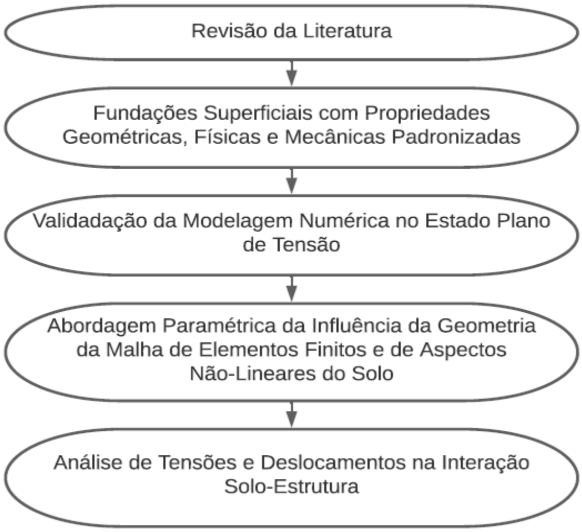


Figura 3 – Fluxograma com metodologia da pesquisa.

Conforme apresentado no fluxograma da Figura 3, a partir do entendimento da parte bibliográfica, foi realizado um estudo de caso de uma fundação superficial rasa e direta do tipo sapata, com características fixas de carregamentos e geometria. As propriedades físicas e mecânicas foram definidas de acordo com o item 8.2.8 da NBR 6118/2014, onde foi adotado o material concreto com agregado graúdo do tipo granito, de f_{ck} de 25 MPa e, consequentemente, o módulo de elasticidade de 24 GPa. A densidade do concreto armado foi considerada de 2500 Kg/m³ (NBR 6120:2019).

A partir da definição das características da estrutura de fundação, pôde-se realizar diversas modelagens numéricas através do software ANSYS e efetivar a validação dessas modelagens no que diz respeito a convergência de malha, em relação a formulação analítica de compatibilidade de deslocamento, de acordo com a teoria de Resistência dos Materiais (HIBELLER, 2010). Tal formulação é empregada para encontrar os deslocamentos em barras axiais e foi utilizada na validação do modelo numérico quando avaliado os deslocamentos no pilar conectado a sapata, sendo tal adoção explicada pelo fato do pilar estar submetido a um efeito de compressão e ser assumido como um modelo linear-elástico. Os deslocamentos aproximados no pilar são expressos por:

$$\Delta L = \frac{PL}{EA} \quad (1)$$

Onde ΔL é o deslocamento de encurtamento do pilar sob compressão simples, P é

a carga axial aplicada; *L* é o comprimento inicial; *E* é o módulo de elasticidade e *A* é a área da seção transversal.

Assim, ao assumir a fundação apoiada sob solo muito rígidos (não transladáveis) com elevados valores de módulo de elasticidade do solo, o problema converge para a solução analítica citada na região do pilar por uma barra sobre efeito axial e os deslocamentos coincidem com a solução analítica. Uma vez que as modelagens se mostraram satisfatórias para modelos rígidos os valores de rigidez do solo foram alterados na modelagem e a flexibilização foi incorporada na análise. Nesta fase, o efeito concomitante axial do pilar se soma ao efeito de flexão da sapata e ao deslocamento do maciço de solo, tornando a análise complexa e que puderam ser avaliadas numericamente.

Em relação aos aspectos do solo, neste trabalho foram abordados dois tipos de não-linearidade: física e geométrica. A não-linearidade física é imposta de forma aproximada pelo uso de módulos de elasticidade diferentes (solo heterogêneo) aplicados na malha de elementos finitos e, por fim, a não-linearidade geométrica é a alteração da geometria das camadas de solo de apoio.

Foram definidos os parâmetros para os tipos de solos conforme Bardet (1997), em que as propriedades mecânicas são aplicadas para um solo flexível, solo intermediário e um solo mais rígido conforme os valores de densidade (ρ), coeficientes de Poisson (υ) e modos de elasticidade (E) apresentados na tabela 1. Por fim, com as modelagens realizadas foram obtidos resultados de tensões e deslocamentos na interface da estrutura com o solo.

Descrição	E (MPa)	v	ρ (Kg/m³)
Solo Flexível	50	0,30	1800
Solo Intermediário	100	0,25	1800
Solo Rígido	150	0,20	1800
Estrutura da Sapata	24000	0,20	2500

Tabela 1 – Parâmetros adotados para os solos e a estrutura de fundação.

3.2 Casos estudados

Com base nos parâmetros apresentados anteriormente, os casos foram baseados em possíveis situações que podem ocorrer em projetos estruturais, apresentando situações simples de interação solo-estrutura com sapatas isoladas, mostrando diferentes discretizações dessas situações.

O caso 1 apresenta uma sapata isolada sem interação solo-estrutura. A sapata isolada tem a geometria padronizada para todos os casos, com base de 2,1 m e altura de 0,60 m, e apresenta um pilar de 0,40 m de largura e 1,5 m de altura. A sapata recebe uma carga axial no topo do pilar de valor igual a 1200 KN. Os casos 2, 3, 4 e 5 apresentam

a mesma sapata e carga aplicada, porém com o solo (flexível), além de discretizações diferentes no perfil das profundidades do solo, de modo que: caso 2 com profundidade de 1,2m; caso 3 com 2,4m; caso 4 com 4,8m e caso 5 com 9,6m. A Figura 4 apresenta os casos de 1 a 5 estudados.

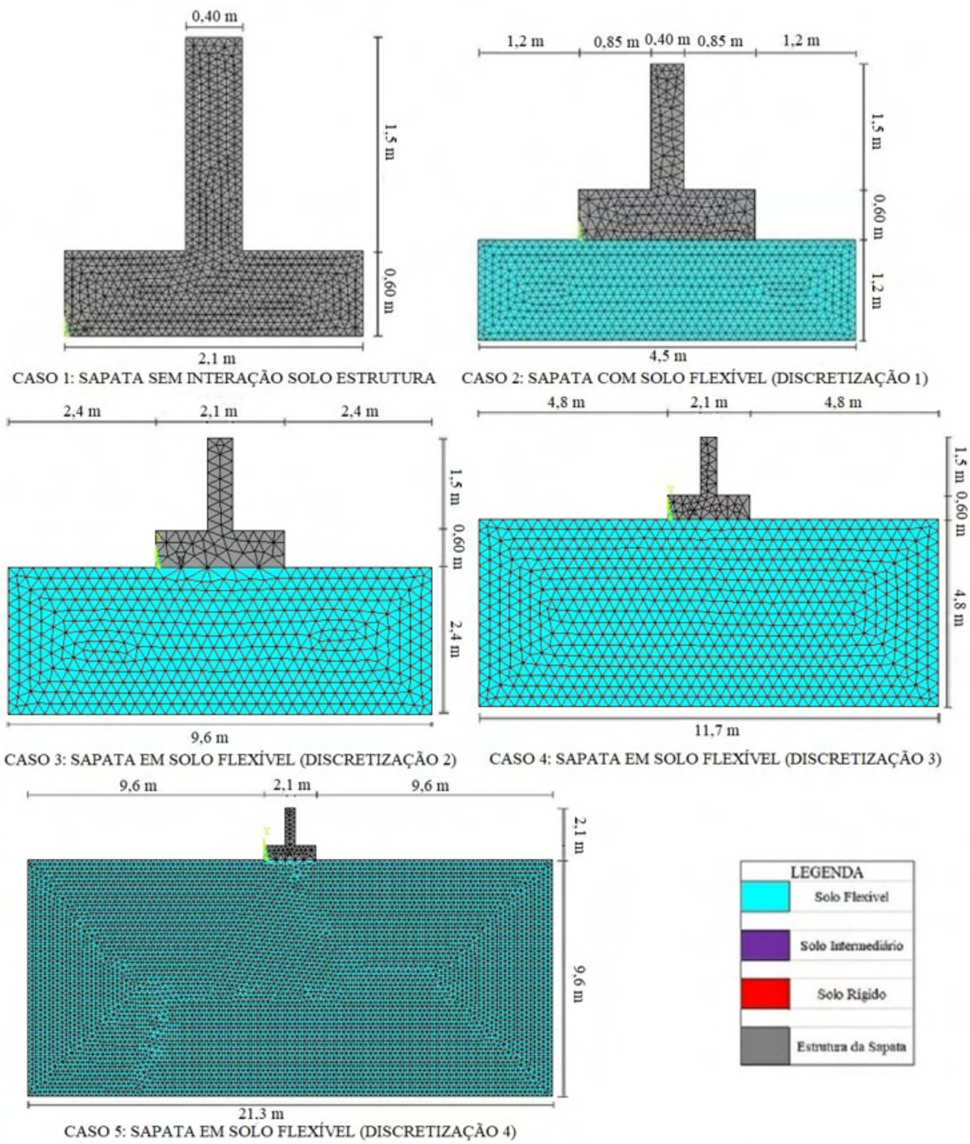


Figura 4 – Detalhes dos casos 1 ao 5 discretizados a serem analisados neste trabalho.

A discretização 4 do solo apresentada no caso 5 foi escolhida como referência para os casos 6, 7 e 8, onde foi aplicada a mesma profundidade (9,6m) e carga (1200 KN),

porém com solos heterogêneos e com alterações na geometria das camadas. A Figura 5 apresenta os casos 6, 7 e 8 estudados.

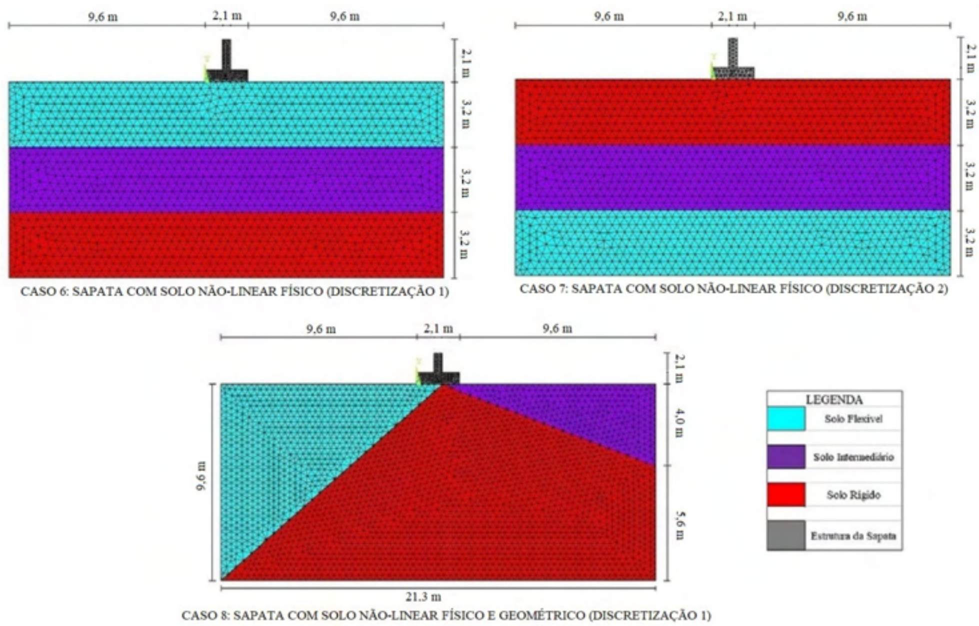


Figura 5 – Detalhes dos casos 6 ao 8 discretizados a serem analisados neste trabalho.

Vale ressaltar que, conforme recomendado em Soriano (2009), em todos os casos as condições de contorno nas modelagens foram de contato de compressão entre malha do solo e da estrutura, deslocamento vertical impedido (apoio 1º gênero em y) no limite da malha na parte inferior do solo e deslocamento horizontal impedido (apoio 1º gênero em x) nas duas laterais da malha do solo. O elemento finito utilizado foi o PLANE183 do ANSYS, que é elemento adequado para estado plano e os problemas estudados. Nenhuma tensão de tração deve ser admitida na discretização da malha do solo durante as investigações.

4 I RESULTADOS E DISCUSSÕES

São discorridos a seguir os resultados das análises, para os casos de 1 a 8. Em todos os casos apresentados, quando em solos assumidos como rígidos ou com o sistema de apoios fixos os deslocamentos do pilar foram validados com a solução analítica. Após a validação o solo foi assumido flexível e os resultados foram obtidos com situações mais complexas, ou seja, efeito de flexão tanto na base da sapata, quanto as tensões na base do solo.

4.1 Análise do caso 1 ao caso 5

Na análise dos casos, podemos afirmar que as tensões aplicadas foram condizentes com as tensões no pilar, assim como os deslocamentos (ΔL) da formulação citada anteriormente. O deslocamento (ΔL) de encurtamento máximo obtido no topo dos pilares foi de aproximadamente 0,238 mm tanto no modelo analítico quanto no modelo numérico e assim demonstram validados.

Por outro lado, quando incluída a flexibilidade do solo, nos resultados pode-se observar que, para o primeiro conjunto de casos (1 ao 5), os resultados de deslocamentos e tensões foram próximos, assim pode-se afirmar que a modelagem e a utilização das formulações foram empregadas de forma correta, validando as análises e a discretização da malha através do método dos elementos finitos. Abaixo na Figura 6 temos os diagramas de deslocamentos em y extraídos do *software*:

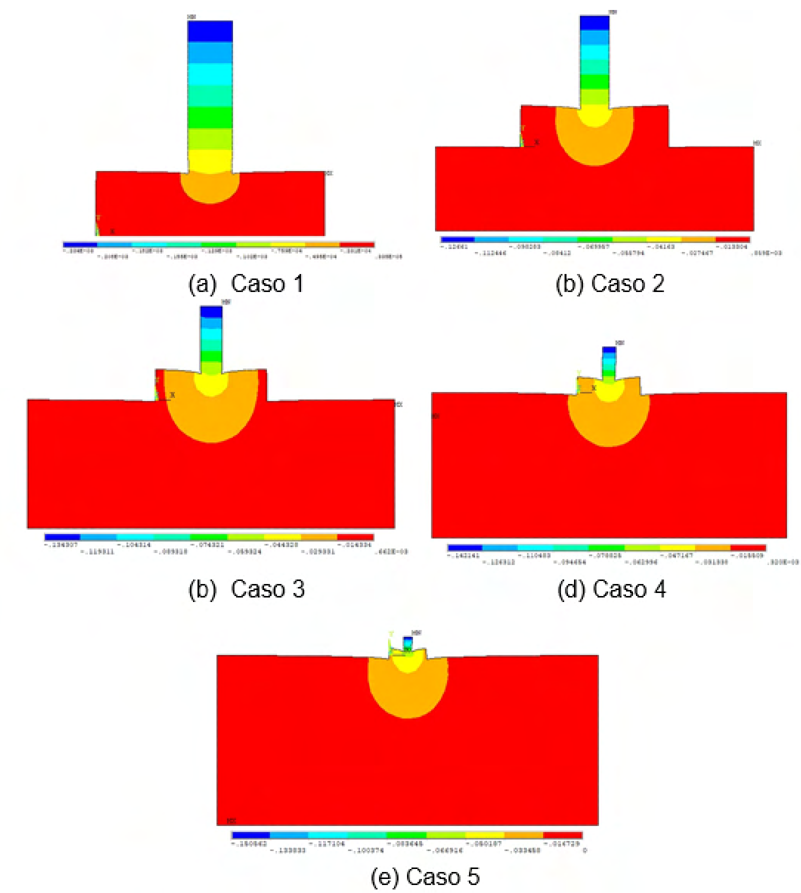


Figura 6 – Diagramas de deslocamentos verticais dos casos 1 ao 5.

Para avaliar as modelagens e as respostas apresentadas na Figura 6, foram feitos cortes em diferentes pontos da base da estrutura até o limite inferior do solo, a fim de buscar uma análise dos recalques em função da profundidade, seguindo a teoria de Terzaghi (1996), conforme mostrado no gráfico da Figura 7.

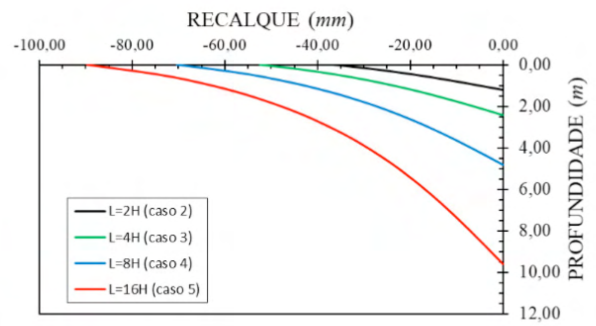


Figura 7 – Resultados de recalque vs profundidade em corte vertical na malha do solo para os casos 2, 3, 4 e 5.

Ao analisar a Figura 7 pode-se observar que os recalques obtidos no modelo numérico dependem da profundidade discretizada, o que já era de ser prever, pois o solo é modelado como um meio elástico que após aplicar carregamento sofre efeito do carregamento até o local de apoio fixo (não transladável), ou seja, limite inferior da malha que surgem as reações de apoio. Tal limite é associado a uma camada impenetrável e de alta rigidez. Assim, para cada laudo de sondagem e, consequentemente, perfil de rigidez do terreno os recalques se alterarão.

Já em relação as tensões obtidas nas modelagens, foi feito uma revisão para buscar a malha ideal para conseguir captar o campo de pressão resultante no solo. Pode-se perceber nos diagramas dos casos 2, 3 e 4 que o bulbo não é formado e, mesmo com a aplicação da carga no pilar, isso ocorre devido a profundidade do solo que foi adotada na modelagem, visto que, de acordo com a carga aplicada no pilar e a base da sapata, estima-se a profundidade do bulbo como 2B, onde *B* é a base da sapata. Sendo assim, nos casos 4 e 5, conforme as cotas apresentadas nos diagramas da Figura 8, foi possível mensurar a posição e tamanho do bulbo em acordo com a teoria.

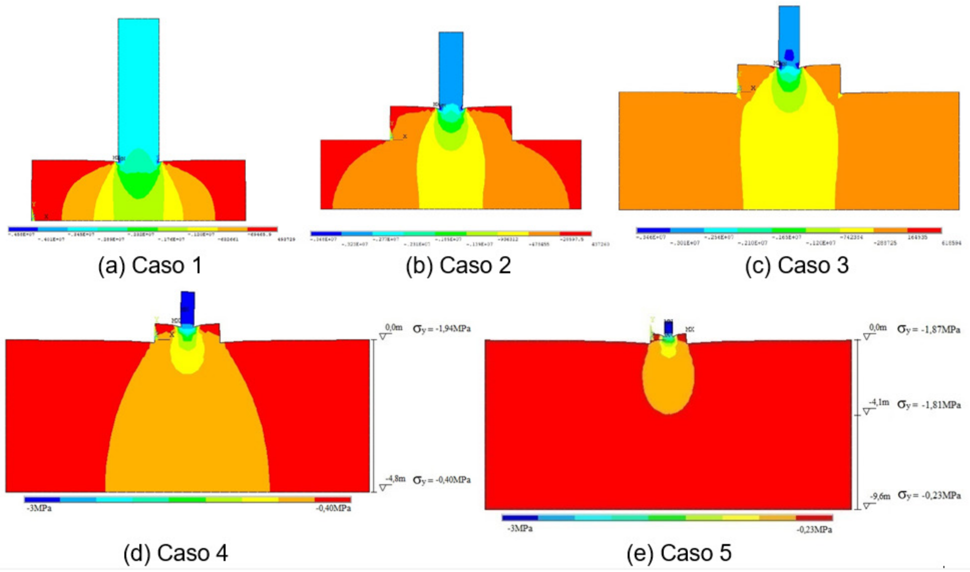


Figura 8 – Diagramas de tensões verticais (y) dos casos 1 ao 5.

A seguir, mostram-se os gráficos (Figura 9) das análises das tensões na estrutura (base da sapata) e na base do solo (limite inferior da malha) para o primeiro conjunto de casos, do 1 ao 5. Pode-se notar no gráfico (a) da Figura 9, que as tensões na base da sapata diminuem de acordo com as alterações feitas na malha de solo. No caso 1, a estrutura está apoiada de forma indeformável, assim as tensões na base da sapata são maiores, então a partir do momento em que foi alterada a profundidade do solo (neste caso apenas o flexível), as tensões foram diminuindo e de valores próximos.

As tensões no contato da base da sapata não mudaram drasticamente. Se analisarmos os casos 2, 3, 4 e 5, levando em consideração a profundidade da malha do solo, as tensões não sofreram grandes mudanças, mostrando que isso não gera tanta influência na base da sapata. Em contrapartida, no caso 1, levando em consideração a sapata em apoios rígidos, temos até uma considerável diferença nos valores obtidos nas tensões na base da sapata. Nota-se que a estrutura apresenta tensões concentradas no centro, devido a carga ser aplicada de forma linear no centro do pilar, além de ocorrer um alívio de tensão nas bordas da estrutura, condizente com Bastos (2019), efeito apresentado na Figura 1.

Por outro lado, no gráfico (b) da Figura 9, nas tensões na base do solo, é perceptível que as tensões vão diminuindo de acordo com o aumento na profundidade e largura usada na modelagem. No caso 2, por exemplo, pode-se observar que o solo discretizado na direção horizontal com dimensões menores, apresenta tensões maiores, assim como nos casos 3, 4 e 5, onde de acordo com o aumento da dimensão do solo, as tensões vão diminuindo, mostrando a influência da malha de elementos finitos na análise. Tal efeito

condiz com a realidade, pois à medida que aumentamos a profundidade da malha de elementos finitos alcançamos tensões menores, semelhante as isóbaras de tensões do bulbo de pressão.

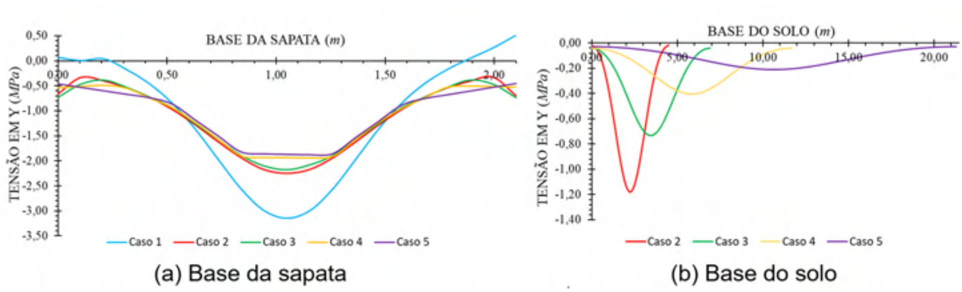


Figura 9 – Resultados de tensões em cortes horizontais na base da sapata e no limite inferior do solo.

Diante disso, pode-se observar que na modelagem de problemas de interação solo-estrutura o tamanho finito da discretização da malha no meio elástico pelo MEF influencia na análise dos deslocamentos, porém as tensões não sofrem alterações drásticas.

4.2 Análise do caso 6 ao caso 8

No segundo conjunto de casos, do 6 ao 8, temos situações que abordam a heterogeneidade do solo. Para iniciar a análise desse conjunto, é importante salientar que a profundidade da malha do solo do caso 5 foi adotada como padrão para os casos 6, 7 e 8, visto que se obteve um bulbo de tensões completo, conforme mostrado anteriormente.

No caso 6 foi modelado uma sapata com interação solo-estrutura, em três tipos de solos: do flexível, passando pelo intermediário, ao rígido. Já no caso 7, temos a situação contrária, onde a sapata está apoiada em um solo rígido ao flexível, e em ambos os casos, os solos apresentam uma não-linearidade física aproximada por diferentes módulos de elasticidade nas camadas. No caso 8, também é apresentado três tipos de solo heterogêneos, porém apresentam também uma não-linearidade geométrica nas camadas.

É notável nos diagramas abaixo da Figura 10, que os deslocamentos apresentados são maiores no caso 7. Neste caso 7, por exemplo, o deslocamento é ainda maior devido ao fato de que as pressões da sapata não se aliviam logo na primeira camada de solo rígida, fazendo com que a camada mais flexível seja atingida por elevadas tensões, assim temos nas camadas mais flexíveis uma deformabilidade maior. De tal modo, é nítido a importância em se considerar o alcance de tensões e deslocamentos aplicadas ao solo nos projetos de fundações, e não apenas considerar a camada em que irá apoiar o elemento estrutural.

Ainda na Figura 10 ao analisar o caso 8, que representa a heterogeneidade física e geométrica das camadas de solo, foi obtido um deslocamento maior na direção do solo mais flexível, ocasionando uma rotação da sapata, que já era prevista para o lado de menor

rigidez do solo.

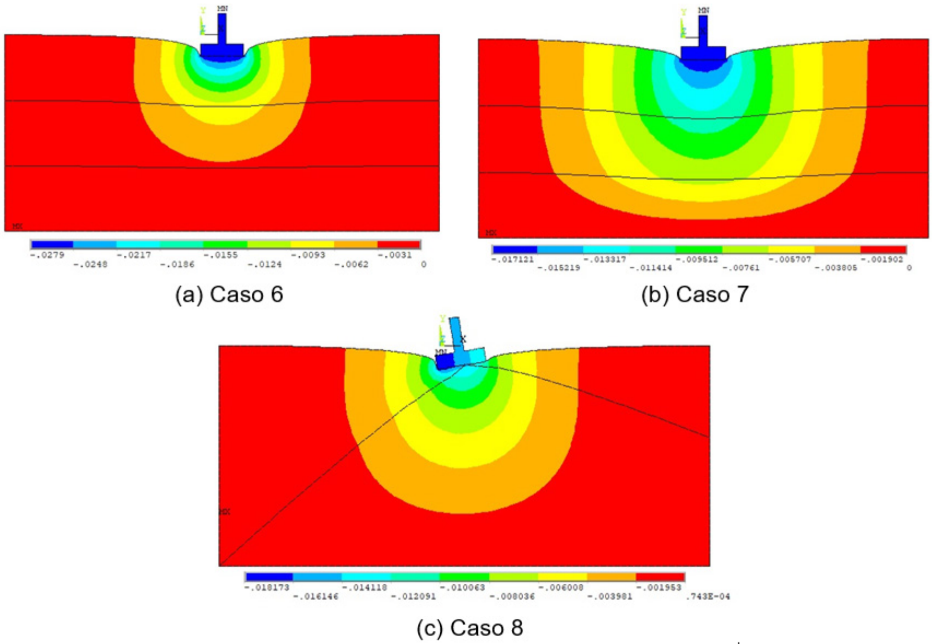


Figura 10 – Diagramas de deslocamentos verticais dos casos 6 ao 8.

Na Figura 11, temos os gráficos que expressam cortes na malha de solo para análise da relação do recalque pela profundidade dos casos 6, 7 e 8. Em relação ao caso 5 anterior, nota-se no gráfico (a) da Figura 11 que o recalque dos casos 6 e 7 são menores, mesmo tendo a mesma profundidade da malha de solo. Além disso, no caso 6 na região da camada de solo flexível o recalque é maior do que no caso 7, porém na região de camada de solo com rigidez intermediária os efeitos se invertem, tornando contrários na última camada de solo em ambas as modelagens, refletindo que a imposição realizada na modelagem demonstra que os recalques estão relacionados a diferentes rigidezes do solo até mesmo em maiores profundidades. Portanto, ao analisar as Figuras 6 a 10 pode-se afirmar que a modelagem mais adequada de um problema de interação solo-estrutura é discretizar todas as camadas com sua respectiva rigidez e incluir os apoios na camada impenetrável, assim os recalques previstos serão simulados na condição de projeto. No gráfico (b) da Figura 11, o caso 8 foi dividido em dois cortes, visando resultados nas diferentes camadas dos solos, em que o recalque maior ocorre na camada superficial no corte A, consequentemente no solo flexível.

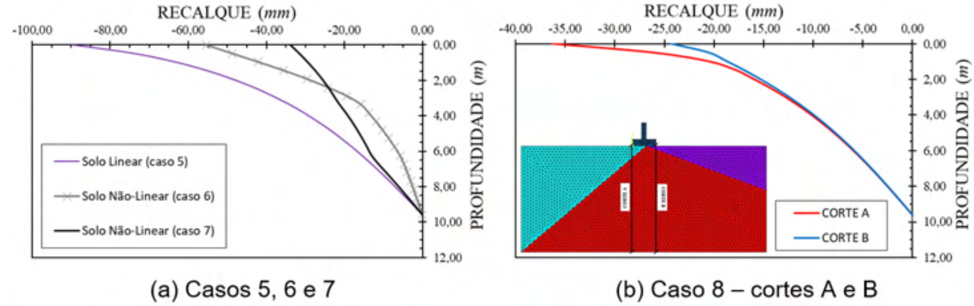


Figura 11 – Resultados de recalque *vs* profundidade em cortes verticais dos casos 5, 6, 7 e 8.

Em relação as tensões dos casos 6, 7 e 8, pode-se perceber nos próximos diagramas da Figura 12, que o solo absorve mais tensão no caso 6 (mais rígido nas primeiras camadas) do que o caso 7. Apesar disso, ambos os bulbos de pressão continuam seguindo a estimativa próxima de 2B, mas com tendência de crescimento no caso 6, fazendo com que a carga atinja uma pressão maior em profundidades maiores. Tal efeito demonstra que é mais difícil as tensões se dissiparem em um solo com camadas superiores mais flexíveis e inferiores mais rígidas do que o contrário.

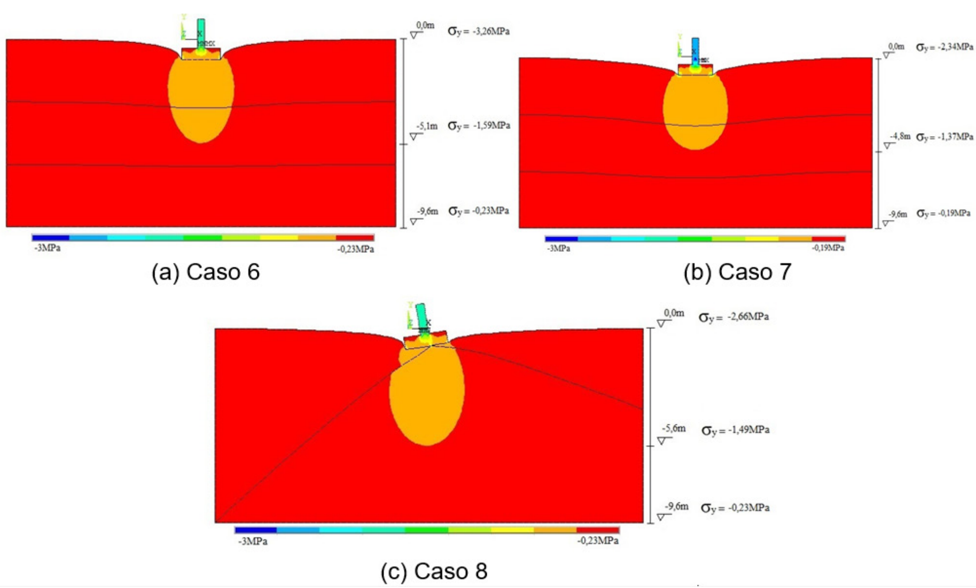


Figura 12 – Diagramas de tensões dos casos 6 ao 8.

No caso 6 o bulbo de tensão ainda está na estimativa prevista, mesmo aumentando gradativamente. Já o caso 7 é notável que o bulbo de pressão não aumenta drasticamente em relação ao caso 6, pelo contrário, ocorre uma pequena diminuição. E por fim, as tensões

do caso 8 seguem as mesmas tendências, apresentando uma pequena descontinuidade das tensões por conta da mudança de camadas do solo e da rotação da sapata.

No gráfico da Figura 13, são apresentados cortes feitos na base da sapata e na base do solo (limite da malha) para os casos 6, 7 e 8. Assim, no gráfico (a) da Figura 13 os casos 6 e 7, os resultados de tensões são próximos, porém o caso 6 apresenta tensões um pouco maiores nas bordas, fazendo com que, do ponto de vista da análise das tensões, ter um solo mais flexível traz resultados menos satisfatórios nas bordas da sapata. Além disso, ao incorporar diferentes rigidezes no solo em relação ao caso 1 (rígido), os casos 6 e 7 tem seu comportamento alterado quanto a distribuição de tensões na base, pois no caso 1 as maiores tensões estão no centro da sapata e no caso 6 e 7 os maiores valores se encontram nas bordas do elemento.

Ainda no gráfico (a) da Figura 13, no caso 8 ocorre uma oscilação nas tensões nos bordos da sapata de acordo com a posição de cada camada de solo na modelagem, ou seja, onde o solo está mais rígido as tensões são maiores.

Já o gráfico (b) da Figura 13 do corte horizontal das tensões na base do solo (limite da malha) observa-se que os casos 6 e 8 apresentam tensões semelhantes, entretanto o caso 7 resulta em tensões menores no solo, isto é, a camada rígida da malha do solo incluída logo em contato com a sapata, de uma certa forma absorve um pouco das tensões, fazendo com que elas caiam de forma discreta. Pode-se concluir que nos casos 6, 7 e 8 não ocorre grandes variações de tensão.

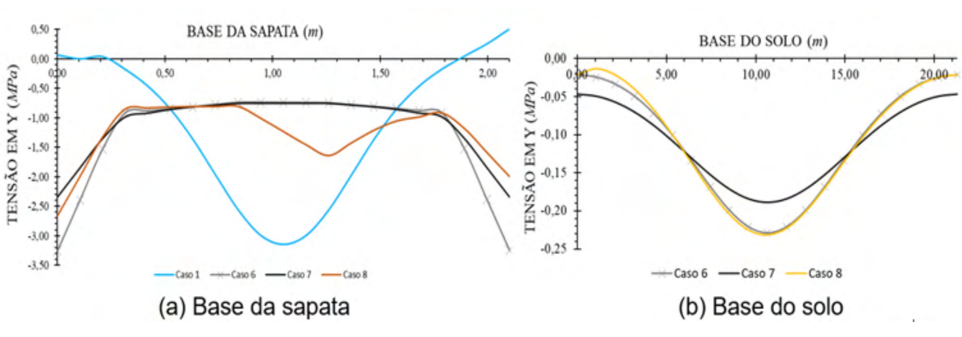


Figura 13 – Resultados de tensões em cortes horizontais na base da sapata e do solo.

5 I CONCLUSÃO

Neste trabalho foi abordada uma análise de estrutura de fundação superficial e seu respectivo comportamento sobre o solo, onde foram obtidos resultados relacionados a deslocamentos e tensões, assim como uma análise da influência da malha de elementos finitos nas simulações.

Nas análises dos casos 1 ao 8 pode-se afirmar que as modelagens realizadas

através do ANSYS, pelo Método dos Elementos Finitos (MEF), foram condizentes e os resultados obtidos foram satisfatórios, relacionando a não-homogeneidade do solo com o comportamento estrutural. Portanto, conclui-se que: i) o limite do apoio da malha de elementos finitos do solo discretizado deve atingir a respectiva camada impenetrável; ii) o solo deve ser discretizado até, no mínimo, a formação do bulbo de tensão; iii) a interação solo-estrutura pode ser representada por um meio elástico pelo MEF desde que não ocorram tensões de tração no contato solo-estrutura ou nas camadas da malha referente ao solo; iv) a distribuição de tensões na base da sapata estão fortemente relacionadas com a rigidez do próprio elemento estrutural e do solo de apoio.

REFERÊNCIAS

Alonso, U. R. (2019). **Exercicios de Fundações**. 3ª edição. Editora Edgard Blucher, São Paulo.

Antoniazzi, J. P. (2011). **Interação Solo-Estrutura de Edifícios com Fundações Superficiais.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações.** Rio de Janeiro, 2019.

Bardet, J-P. **Experimental Soil Mechanics**. Prentice Hall, 1997.

Bastos, P. S. D. S. (2019). **Sapatas de Fundação.** Apostila Didática da Disciplina de Estruturas de Concreto III das Notas de Aula do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual Paulista (UNESP). Bauru, SP, 2019.

Cintra, J.; Aoki, N.; Albiero, J. H. (2011). **Fundações Diretas: Projeto Geotécnico**.1ª edição. Editora Oficina de Textos, São Paulo, 2011.

Colares, G. M. (2006). **Programa Para Análise da Interação Solo-Estrutura no Projeto de Edifícios.** Dissertação de Mestrado em Engenharia das Estruturas pela Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2006.

Cook, R. D. **Finite Element Modeling for Stress Analysis.** Wiley, 1995.

Guerra, M. V. P.; Sales, M. M. (2011). **Interação Fundação-Estrutura Em Edifícios Sobre Sapatas.** Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO, 2011.

Hibbeler, R. C. (2010). **Resistência dos Materiais.** 7ª edição, Editora Makron, 2010.

Lopes, A. P. (2003). **Análise Estática e Dinâmica de Problemas de Interação Solo-Estrutura Utilizando Os Métodos dos Elementos Finitos e Infinitos.** Dissertação de Mestrado em Estruturas do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2003.

Mendes, E. J. (2016). **Análise de Edifícios Considerando a Interação Solo-Estrutura.** Monografia de Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2016.

Milititsky, J.; Consoli, N. C.; Fernando, S. (2015). **Patologia das Fundações**. 2 Edição,São Paulo, Editora Oficina de Textos, 2015.

Silva, J. N. B. (2019). **Interação Solo-Estrutura em Edifícios Sobre Fundações Superficiais.** Trabalho de Conclusão de Curso pela Universidade Federal de Alagoas, 2019.

Soriano, H. L. **Elementos finitos: formulação e aplicação na estática e dinâmica das estruturas**. Ciência Moderna, 2009.

Terzaghi, K.; Peck, R. B.; Mesri, G. (1996). **Soil Mechanics In Engineering Practice.** 3rd Edition, New York: John Wiley and Sons INC.

Velloso, D. A.; Lopes, F.R. (2011). **Fundações: criterios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas**, 2ª edição, Editora Oficial de Textos, São Paulo.

Vitoretti, M. M. (2003). **Análise da Interação Solo-Estrutura Em Fundações De Concreto Armado Pelo Método dos Elementos Finitos.** Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2003.

CAPÍTULO 4

ONDE O EDIFÍCIO E A CIDADE SE ENCONTRAM: CONEXÕES NA ORLA DE MACEIÓ-AL

Data de aceite: 01/03/2022

Morgana Maria Pitta Duarte Cavalcante
Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo- PPGAU-FAU-UFAL
Maceió-AL
http://lattes.cnpq.br/0193797497833820

Matheus Santana Correia
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo FAU-UFAL
Maceió-AL
http://lattes.cnpq.br/9773290552258642

Luanne de Andrade Brandão
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo FAU-UFAL
Maceió-AL
http://lattes.cnpq.br/5422131979734870

Sarah Pace
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo FAU-UFAL
Maceió-AL
http://lattes.cnpq.br/9438194159439094

RESUMO: O artigo investiga o edifício no contexto da cidade a partir de suas conexões, pontuando os espaços de transição entre o espaço público e o privado na tentativa de identificar onde "a cidade e o edifício se encontram", especialmente a partir do nível do solo. Desta forma, a pesquisa busca no espaço da cidade de Maceió, neste primeiro momento, na orla norte da cidade, nos bairros da Pajuçara e Ponta Verde; identificar estes espaços de conexão com o edifício e que a torna mais viva e democrática. Como procedimentos metodológicos efetuou-se a revisão bibliográfica referente aos conceitos de conexão, espaços de transição, permeabilidade, intervalo e design urbano; além de levantamento de dados e pesquisa de campo na área de estudo delimitada. Ressalta-se que a pesquisa desenvolvida é anterior à pandemia da Covid-19.
PALAVRAS-CHAVE: Cidade. Edifício. Conexão.

ABSTRACT: The article investigates the building in the context of the city from its connections, pointing out the transition spaces between public and private space in an attempt to identify where "the city and the building meet", especially from the ground level. In this way, the research searches in the space of the city of Maceió, in this first moment, in the north edge of the city, in the districts of Pajuçara and Ponta Verde; to identify these spaces of connection with the building and which makes it more lively and democratic. As methodological procedures, a bibliographic review was carried out referring to the concepts of connection, transition spaces, permeability, interval and urban design; in addition to data collection and field research in the delimited study area. It is noteworthy that the research developed predates the Covid-19 pandemic.
KEYWORDS: City. Building. Connection.

1 I INTRODUÇÃO

O Edifício na contemporaneidade quando analisado a partir dos espaços de conexão entre o mesmo e a cidade traz de maneira clara elementos qualificadores que o definem a partir

de sua localização, implantação e entorno. Alguns exemplos são notórios de edifícios que se integram à cidade, tais como: o Rockfeller Center, em Nova Iorque, com sua pista de patinação no gelo e espaço para arte urbana e o MASP, em São Paulo, através de seu vão livre, onde em ambos os casos há a permissão de uma ligação com a cidade, com espaços "vividos" mais amplamente pela população, espaços de transição onde "o edifício e a cidade se encontram" (GEHL,2013). Assim, a permeabilidade dos edifícios e a cidade, em especial, a partir do pavimento térreo instiga e corrobora para uma cidade mais conectada e vivenciada por seus habitantes.

Logo, identificar os espaços que marquem a passagem entre o privado e o público, sejam eles de transição, intervalos, calçadas ou ruas, é importante para que seja delineado esta conformação do espaço a partir de seus edifícios e como eles se conectam com a urbe.

Desta forma, investiga-se na cidade de Maceió, especialmente em sua orla norte, espaços ao nível da rua que instigam a participação da população enquanto espaços de vivência, intermediários entre o público e o privado. Para a pesquisa torna-se necessário a discussão dos conceitos de conexão, espaços de transição, intervalo, permeabilidade física e design urbano.

Ermínia Maricato como proposta para sociedade aponta para lógica das relações sociais como elemento chave para modificar a própria sociedade. Antes de se modificar o crescimento das cidades, a sociedade necessita rever e reestruturar o paradoxo de suas próprias relações. Desta forma, indica que:

> É evidente que não é possível reverter o rumo do crescimento das cidades sem reverter os rumos das relações sociais. A construção de um novo paradigma urbano faz parte da luta por uma nova sociedade, mas enquanto tal interessa destacar aqui a sua especificidade. (2007, p.169).

Assim, a pesquisa busca no espaço da orla norte da cidade de Maceió, identificar espaços de conexão com o edifício e exemplares de mobiliário urbano que permitem que o espaço da *urbe* seja mais inclusivo e participativo.

Hertzberger (2010) – Lições de Arquitetura apresenta o conceito de intervalo como o local onde se estabelece um primeiro contato entre o que é privado e público, o que para pesquisa é fundamental para se entender o espaço a ser trabalhado.

Outro conceito a ser estudado é de conexão:

Montaner (2002,2008) investiga a questão da cidade sistêmica que é fluida e conectada. A conexão do edifício com a cidade e obras referenciais que privilegiam este tipo de desenho. Desta forma, pretende-se a partir do autor ampliar o repertório sobre a temática através da pesquisa de obras referenciais.

1.1 Público e Privado

> Num sentido mais absoluto, podemos dizer: pública é uma área acessível

a todos a qualquer momento; a responsabilidade por sua manutenção é assumida coletivamente. Privada é uma área cujo acesso é determinado por um pequeno grupo ou por uma pessoa, que tem a responsabilidade de mantê-la. (HERTZBERGER, 2010, p. 12).

Como deixou claro Hertzberger (2010), a relatividade dos conceitos de público e privado vai além de sinalizadores da privacidade de um local, como cones ou seguranças particulares.

1.2 Espaço de Transição

Quanto ao conceito de espaços de transição, Gehl (2013, p.75) entende que na contemporaneidade "o tratamento dos espaços de transição da cidade, em especial, os andares mais baixos, tem influência decisiva na vida do espaço urbano. "

"Os espaços de transição da cidade limitam o campo visual e definem o espaço individual. Essas transições contribuem de forma crucial para experiência espacial e para a consciência do espacial como lugar. " (GEHL,2013, p.75).

Ao mencionar em seu livro sobre o espaço de transição, Jan Gehl deixa claro seu conceito e seu funcionamento: "É o local onde se entra e sai do edifício, onde pode haver interação da vida dentro das edificações e da vida ao ar livre. " (GEHL,2013, pg. 75). São assim agenciamentos de entrada, fachadas, espaços que consistem na dualidade dos conceitos de público e privado, vivenciando ambos, como se observa nesse acesso ao Museu Nacional de Brasília (Figura 1).



Fig.1 Entrada do Museu Nacional de Brasília.

Fonte: CORREIA,2016.

Já em uma perspectiva relacionada ao resguardo, o espaço de transição se torna um ambiente de preparação para a saída ou entrada na residência. Em vista da mudança de comportamento influenciada pelos espaços. Trata-se de estabelecer uma área para, psicologicamente, o indivíduo compreender a mudança de espaço e, assim, mudar seu comportamento. Sendo esse espaço um elo de conexão de quem se encontra no edifício

com o meio externo, definem-se duas formas para esse espaço: suave quando se trata de um local aberto e interessante para o transeunte; e rígido quando um local fechado e pouco atrativo.

1.3 Intervalo

"O valor desse conceito [intervalo] é mais explícito na soleira *per excellence*, a entrada de uma casa. Estamos lidando aqui com o encontro e a reconciliação entre a rua, de um lado, e o domínio privado, de outro. " (Hertzberger,2010, p. 32). A partir da análise, Hertzberger (2010) torna-se visível a importância da relação do edifício com o meio público, visto agora do meio privado, da construção. Comumente encontrados em bares e restaurantes, localizados em ruas com tráfego intenso de pedestres, como é o caso dos bares da rua Augusta (Figura 2), em São Paulo, esse espaço propicia uma relação de pertencimento ao meio público dentro do meio privado, ou seja, da segurança, da comodidade.



Fig. 2 Rua Augusta.

Fonte: TEIXEIRA, 2011.

Assim, é tomado como intervalo o espaço do meio privado de comunicação com o meio externo, dado o exemplo da soleira. Seria tal como considerar o espaço de transição definido por Jan Gehl como uma parada, um ponto para se acomodar e se comunicar com o público na segurança do privado.

1.4 Permeabilidade

"Permeabilidade física entre espaços públicos e privados ocorre nas entradas para os edifícios ou jardins. Isso enriquece o espaço público através do aumento do nível de atividade em suas bordas. " (BENTLEY *et al.*, 1985, p.13).

A partir dos estudos de Bentley a pesquisa também procurou efetuar aproximações teóricas para melhor construção do conceito de espaço de transição, buscando entender

os espaços de permeabilidade entre o edifício e a cidade, além de elementos importantes à compreensão dos espaços estudados.

Segundo Bentley *et al.* (1985), em se tratando de arquitetura a permeabilidade é a possibilidade de interação entre o exterior e o interior, podendo ser física ou visual.

A permeabilidade física é caracterizada pela quantidade de acessos existentes na edificação, pela quantidade de aberturas, pela relação estabelecida entre os vazios do artefato construído. Já a permeabilidade visual permite a interação visual entre o interior e o exterior, insinua-se através de transparências.

Quanto maior a permeabilidade proporcionada por fachadas de vidros, janelas e varandas, maior será o contato com o exterior e maior será a interação do usuário com o meio urbano, enriquecendo a troca de experiências com o meio externo.

Experimentar a cidade através de seus sentidos, percebendo e vivenciando o que está acontecendo no seu entorno tanto no ambiente público quanto no privado como nas lojas, fábricas, oficinas e edifícios coletivos adjacentes possibilita enriquecimento nas duas direções. (GEHL, 2013).

Ainda que, alguns edifícios privados em determinadas situações se apropriam de um menor grau de permeabilidade com o objetivo de favorecer à privacidade. Estes acabam se isolando do meio externo, dificultado uma série de interações e estímulos que a permeabilidade possibilita.

Sendo assim, podemos analisar que os espaços privados e públicos precisam estar dispostos de forma que propiciem uma melhor vivência e interação dos usuários, proporcionando uma ligação entre o edifício e a cidade.

1.5 Conceitos de Design e Design urbano

O termo design é proveniente do inglês e quer dizer desenho, por sua vez o design urbano é o desenho de elementos e espaços que formam uma cidade, pode-se assim dizer, é tudo que está inserido no meio urbano, formando então uma paisagem urbana. Os agentes formadores dessa paisagem são diversos, como, vias, calçadas, praças, áreas públicas de convívio, mobiliário e equipamento urbano. Esses e outros tantos agentes trabalham em função do usuário, de uma população, se não houvesse quem os utilizasse, não faria sentido sua existência.

Os elementos de design urbano que ajudam a compor essa paisagem devem traduzir a personalidade de quem o fez e também caracterizar de maneira esteticamente harmônica o local de inserção.

De acordo com Creus (1996), o desenho de elementos urbanos não se difere em nada de outros tipos de design, sendo assim, o processo de design deve satisfazer três conceitos interligados, a funcionalidade, a racionalidade e a emotividade.

Para ele os elementos têm que atender aspectos funcionais de uso, aspectos matemáticos e racionais e em relação ao conceito de emotividade, o autor discorre que

sobre o grau de reações e sensações psicológicas, que o objeto provoca no observador.

Segundo Gehl (2013) espaços públicos devem ser prioritariamente pensados em termos de dimensão humana, o espaço urbano deve ser elaborado em função de seus usuários.(Figura 3).



Fig. 3 -Elemento urbano de acesso ao metrô.

Fonte: BRANDÃO, 2016.

1.6 Mobiliário Urbano

Conhece-se como mobiliário urbano, todos os equipamentos inseridos em espaços públicos de uma cidade, sendo alguns dele de informação, sinalização, comunicação, iluminação, descanso, lazer, de maneira a atender as necessidades de qualquer usuário/cidadão, proporcionando o bem-estar no espaço urbano.

São ainda considerados elementos pertencentes a esta definição, os equipamentos de cultura como, escultura, marcos, monumentos, painéis artísticos, os de comércio como, comércio ambulante, quiosques de uso comercial, contanto que estejam em área pública, barracas, os de ornamentação de paisagem urbana, como canteiros de árvores, fontes ou chafarizes e muitos outros.

Segundo a legislação brasileira, por meio da Lei 10.098/2000, define o termo mobiliário urbano como:

"Conjunto de objetos presentes nas vias e espaços públicos, superpostos ou adicionados aos elementos da urbanização ou da edificação" (BRASIL, 2000).

De acordo com a definição da NBR 9283, 1986 sobre mobiliário urbano:

"Todos os objetos, elementos e pequenas construções integrantes da paisagem urbana de natureza utilitária ou não, implantados mediante autorização do poder público, em espaços públicos e privados. " (ABNT, 1986).

A norma ainda dá a definição dos tipos, alguns mencionados acima, que são adotados pela ABNT e são eles*:* circulação e transporte, cultura e religião, esporte e lazer, sistemas de comunicações, sistema de energia, sistema de iluminação pública, sistema de

saneamento, segurança pública e proteção, abrigo, comércio informação e comunicação visual e por último o de ornamentação da paisagem e ambientação urbana.

Segundo o arquiteto e urbanista Jorge Mario Jáuregui em seu livro Utopia Viva – Workshop de Desenho Urbano (2001):

"O mobiliário urbano pode ser considerado um complemento importante na qualificação do espaço urbano [...]". (2001).

Antes de tudo deve-se ter em mente que o mobiliário urbano é feito para pessoas e que cada uma tem particularidades e principalmente necessidades diferentes. Dessa forma deve ser concebido e implantado de modo atender a todos os critérios desejados por uma população. É importante que o funcionamento desses equipamentos seja o melhor possível, levando em conta aspectos ergonômicos, antropométricos, funcionais e também construtivos, propiciando acessibilidade a todos.

Levando em consideração que o mobiliário urbano é algo que compõe a paisagem urbana, é importante também pensar sua aparência visual para que não seja algo pesado e até mesmo desagradável aos olhos do observador. Cada mobiliário deve representar a identidade de uma cidade, como são icônicas as cabines telefônicas em Londres (comunicação) (Figura 4), além da sua forma dever estar integrada no meio urbano, como no exemplo de bancos inseridos nos passeios da cidade (ambientação) (Figura 5).



Fig. 4 Telefone público em Londres.

Fonte: BRANDÃO, 2016.

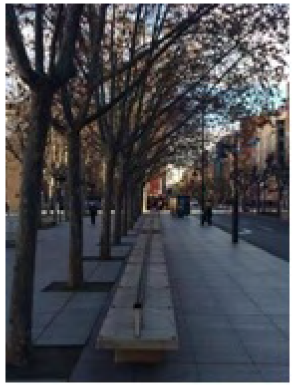


Fig. 5 Banco em Logroño.

Fonte: BRANDÃO, 2016.

2 I A ÁREA E A METODOLOGIA APLICADA

A pesquisa tem como metodologia a observação participante e apresenta como procedimentos metodológicos a revisão bibliográfica referente à temática estudada e a pesquisa de campo na área de estudo através de registros fotográficos dos espaços e das diferentes tipologias de design urbano na orla nos bairros da Pajuçara, Ponta Verde e Jatiúca em diferentes dias e horários nos anos de 2015 e 2016. (Figura 06).

Salienta-se que para a investigação conceitual trabalhou-se buscando embasamento acerca de temas como CONEXÃO, INTERVALO, PERMEABILIDADE, ESPAÇO DE TRANSIÇÃO E DESIGN URBANO. A leitura visual (seus elementos) do meio ambiente construído. Questões estas necessárias ao entendimento da produção plástica/visual no espaço de estudo delimitado.



Figura 6 Recorte do mapa da orla de Maceió.

Fonte: PMM.

3 | ESPAÇOS DE TRANSIÇÃO, INTERVALO, PERMEABILIDADE E DESIGN URBANO NA ORLA

Com a presença constante de hotéis e restaurantes na orla, percebe-se a existência de espaços que são atrativos para o pedestre com cardápios expostos na entrada e bancos para espera em frente à fachada, configuração usada também pelos mercados de artesanato, quiosques, e pelos próprios hotéis. Desta forma, definindo espaços de transição entre o público e o privado. Um exemplo claro da existência de tais espaços é a área em frente ao restaurante Imperador dos Camarões. (Figura 7).

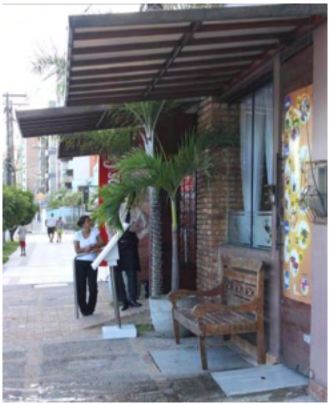


Figura 7 Entrada de restaurante na orla.

Fonte: CORREIA, 2016.

Outra característica marcante nos prédios de serviço de tal trecho são amplos espaços abertos nos limites das edificações com a rua (Figura 8), como mesas cobertas pelo telhado, mas sem a presença de parede que impedisse a vista da rua ou da praia.



Figura 8 Intervalo em um hotel para a rua.

Fonte: CORREIA, 2016.

No caso das edificações residenciais, os espaços de transição por mais que sugeridos

pela construção, encontram-se subutilizados na maioria dos casos. No edifício Neo 2.0, cujo o uso é misto, contando com a presença de uma filial da rede de lanchonetes Subway, percebeu-se a presença de pessoas que estavam interagindo com os dois espaços, tanto com o interior (privado) quanto com o exterior (público). (Figura 9).



Figura 9 Mulheres observam movimentação na rua no edifício Neo 2.0.

Fonte: CORREIA, 2016.

Aos domingos, o trecho percorrido na Avenida Sílvio Carlos Vianna (Figura 10) é fechado para o trânsito de carros e motos, ficando aberto como espaço público de lazer onde transitam pedestres, bicicletas e skates, patins.



Figura 10 Rua fechada para circulação de automóveis.

Fonte: CORREIA, 2016.

Contextualmente, trata-se de uma região predominantemente residencial com a presença de pontos comerciais tanto nas proximidades do calçadão quanto ao lado dos prédios. Em relação às edificações residenciais, constatamos um isolamento e abstenção da comunicação com o meio externo por parte dos moradores. Na prática, apenas a existência de contato visual através de varandas fechadas ou abertas (permeabilidade).

Com relação aos bares do calçadão (barracas) encontramos tanto a situação do espaço de transição quanto a do intervalo. A fim de tornar convidativa a entrada, os bares

e restaurantes do calçadão são completamente abertos, integrando-se ao espaço externo para possibilitar ao cliente a visão do mar e da movimentação na avenida e na calçada.

A partir das observações na orla e de análises de acordo com os conceitos estudados, até então, foram escolhidos dois edifícios que apresentam uma maior quantidade de elementos arquitetônicos que facilitam a permeabilidade, os quais foram, o hotel Radisson e o edifício Ana Maria, ambos situados na orla do bairro de Pajuçara.

- **Hotel Radisson (atual Best Western Premier Maceio)**

O hotel Radisson, atual hotel Best Western Premier Maceio (Figura 11) está situado na orla do bairro de Pajuçara, na Avenida Doutor Antônio Gouveia, em uma localização considerada privilegiada por se situar próximo à praia. Posição essa, que passa a ser um dos atrativos aos turistas. O edifício apresenta uma fachada envidraçada praticamente em toda a sua extensão, chamando atenção de quem ali passa. Nesse caso, foi observado que a permeabilidade visual existente, é por meio do usuário que se encontra dentro do edifício, visto que, devido aos enormes painéis de vidro pode observar o meio externo. Entretanto, esses mesmos painéis que possibilitam essa interação de dentro para fora, bloqueiam a interação no sentindo inverso. A escolha do tratamento com filme espelhado nas fachadas de vidro, com o objetivo de assegurar a privacidade, permite a iluminação vinda de fora, mas em contrapartida bloqueia a visão de quem está do lado de fora, formando barreiras visuais que passam a bloquear tal interação.



Figura 11 Hotel Radisson (atual Best Western Premier Maceio) - permeabilidade visual.

Fonte: PACE, 2016.

A permeabilidade física foi observada no pilotis, tanto no hall de entrada do hotel onde existe um espaço aberto com mobiliário destinado à interação do usuário, como na fachada que apresenta uma grande marquise e duas colunas de sustentação fazendo a marcação da entrada principal, o que facilita atração e o direcionamento do usuário para adentrar na edificação. Esses dois pontos permitem a permeabilidade tanto do usuário

interno como externo.

- **Edifício Ana Maria**

Localizado na orla de Pajuçara, no edifício residencial e comercial Ana Maria (Figura 12), foram identificados vários elementos bastante relevantes para o acontecimento da permeabilidade no edifício. Logo *no pilotis* é possível observar a permeabilidade física, pois o prédio possui dois acessos: uma entrada privada para a parte residencial destinada somente a moradores e visitantes e uma entrada pública para a galeria que possui lojas, cinema, empresas de turismo, *lan house*, consultório e outros espaços comerciais.



Fig.12 Edifício Ana Maria-permeabilidade física.

Fonte: PACE, 2016.

O corredor da galeria percorre toda a extensão do prédio e acaba do outro lado do quarteirão, tendo acesso também, pela Rua Jangadeiros Alagoanos, onde se pode notar um acesso para o hotel ao lado da galeria. Isso se torna um ponto interessante na análise por se tratar de um prédio que apresenta três funções e quatro acessos diferentes, podendo ser observada claramente um alto grau de permeabilidade física existente na edificação, conforme Bentley *et al.* (1985).

Assim, o usuário tem a possibilidade de percorrer toda a extensão do edifício privado, que ao mesmo tempo é público, de maneira livre a usufruir dos serviços que nele estão presentes.

Também, durante a pesquisa ao longo da orla, foi possível observar o comportamento dos usuários em relação ao mobiliário como, por exemplo, entender quais são os equipamentos de permanência temporária e os de permanência constante. Dentre os elementos encontrados, estão alguns dos enumerados: quadra esportiva-elemento de lazer, de comércio-banca de revista e de circulação- bicicletário.

É possível notar que há uma interação do cidadão com os elementos mostrados, que existe um uso direto deste equipamento.



Fig. 13 Quadra esportiva, considerado elemento de lazer.

Fonte: BRANDÃO, 2016.



Fig. 14 Banca de revista, considerado elemento de comércio.

Fonte: BRANDÃO, 2016.



Fig. 15 Bicicletário, considerado elemento de circulação e transporte.

Fonte: BRANDÃO, 2016.

Ao fundo é possível observar a existência de *playgrounds* (rampas para prática de esportes) para uso do lazer.

Desta forma, percebemos diferentes equipamentos que permitem interação do usuário com o próprio espaço urbano, tornando a cidade mais humana e vivenciada através

de seus espaços democráticos.

4 I CONCLUSÕES

Entende-se a partir desta pesquisa que a cidade apresenta espaços que, se bem agenciados e convidativos, podem favorecer a vida participativa de seus habitantes. As cidades quando pensadas para pessoas, como Gehl assim assinala, potencializam a convivência, especialmente, ao nível da rua. Portanto, a pesquisa ainda em fase de finalização busca mapear e pontuar estes espaços que tornam a cidade mais convidativa a ser efetivamente vivida.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, C., ISHIKAWA, S., SILVERSTEIN, M. **A pattern language** New York: Oxford University Press,1977.

ARANTES, Otília; VAINER., Carlos; MARICATO, E. **A cidade do pensamento único: desmanchando consensos.** Petrópolis: Ed. Vozes, 2007.

BENTLEY, I., ALCOCK, A., MURRAIN, P., MCGLYNN, S., SMITH, G. **Responsive environments: a manual for designers.** London: Architectural Press, 1985.

FERRARA, L. D. **Design em espaços**. São Paulo: Edições Rosari, 2002.

GEHL, J. **Cidade para pessoas**. São Paulo:Perspectiva,2013.

HERTZBERGER, H. **Lições de Arquitetura.** São Paulo:Martins Fontes, 2010.

JÁUREGUI, J. M.**Utopia Viva – Workshop de Desenho Urbano.** Recife: FAUPE, 2001.

MONTANER, J. M. **As formas do século XX.** Barcelona: Gustavo Gile, 2002.

________. **Sistemas arquitectónicos contemporâneos**. Barcelona: Gustavo Gili, 2008.

NBR – 9283 (1986) – **Mobiliário Urbano** . Brasil

CAPÍTULO 5

GESTÃO DE OBRAS RESIDENCIAIS EM CONDOMÍNIO DE CASAS: ESTUDO DE CASO

Data de aceite: 01/03/2022

Maria Aridenise Macena Fontenelle
Engenharia Civil, UFERSA

Érica Karine Filgueira Costa
Engenharia Civil, UFERSA

RESUMO: A construção civil representa uma importante parcela da economia nacional que vem passando a crescer mais moderadamente ao longo dos anos. Por essa razão, volta-se a atenção para os canteiros de obras, a fim de aumentar a produtividade e a sustentabilidade da produção. Nesse contexto, o principal objetivo desta pesquisa é entender como ocorre o planejamento e controle de obras na construção de residências unifamiliares na cidade de Mossoró-RN e identificar quais medidas podem ser sugeridas para adequação, a partir do estudo de caso de um conjunto de cinco obras de uma pequena construtora. O trabalho foi realizado a partir de uma pesquisa exploratória dividida em duas etapas: fundamentação teórica e análise prática, sendo essa última composta de uma investigação através de observação direta e de entrevista semiestruturada aplicada ao engenheiro e aos mestres das obras. A pesquisa evidenciou a importância de reunir esforços para melhor organizar a produção no canteiro de obras, valorizando os processos de planejamento e controle, tornando-os indispensáveis em qualquer obra, de modo a aumentar a qualidade, a rapidez e diminuir os custos das obras, melhorando também o ambiente de trabalho, contando com a qualificação dos profissionais.
PALAVRAS-CHAVE: Gestão, Planejamento, Controle, Construção civil, Obras.

ABSTRACT: Civil construction represents an important part of the national economy, which has been growing more moderately over the years. For this reason, attention is turned to construction sites in order to increase productivity and production sustainability. In this context, the main objective of this research is to understand how the planning and control of works occurs in the construction of single-family homes in the city of Mossoró-RN and to identify which measures can be suggested for adequacy, from the case study of a set of five works by a small construction company. The work was carried out from an exploratory research divided into two stages: theoretical foundation and practical analysis, the latter being composed of an investigation through direct observation and semi-structured interview applied to the engineer and the masters of works. The research evidenced the importance of joining efforts to better organize production at the construction site, valuing the planning and control processes, making them indispensable in any work, in order to increase the quality, speed and reduce the costs of the works, also improving the work environment, counting on the qualification of professionals.
KEYWORDS: Management, Planning, Control, Construction.

1 I INTRODUÇÃO

A construção civil representa uma

importante parcela do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro: 8,6% de todo o PIB nacional, em 2017, era ligado ao setor (ABRAMAT/FGV, 2018), sendo a maior parte dos estabelecimentos integrantes deste compostos por até 4 empregados (PAIC/IBGE, 2017).

Na cidade de Mossoró-RN essa realidade se configura através do crescimento na procura por residências em condomínios fechados e loteamentos, fomentando o surgimento de micro e pequenas empresas que trabalham com esse tipo de construção.

Entretanto, seguindo a tendência nacional de queda na produtividade na construção civil (PAIC/IBGE, 2017), essas construtoras tendem a não apresentar, apesar do baixo grau de complexidade das atividades desempenhadas e do quadro de funcionários reduzido, uma produtividade satisfatória – o que é grosseiramente indicado pelo não cumprimento dos prazos e não padronização da qualidade do produto.

Entendendo que a produtividade é resultado de correta planejamento e controle, o trabalho a ser realizado tem o interesse de investigar metodologicamente a organização do planejamento e gestão em uma pequena construtora da cidade de Mossoró-RN, especializada na construção de casas em condomínios horizontais, a fim de compreender de que maneira a ausência de gestão influencia a produtividade das obras, apontando ainda sugestões para adequações.

Dessa forma, espera-se suscitar o aperfeiçoamento do modelo gerencial adotado por pequenas empresas do ramo da construção civil em suas obras, proporcionando uma maior sustentabilidade no setor ao se aproximar do equilíbrio entre capital, produção e produto.

1.1 Obras de edificações

A cadeia produtiva da construção civil representa um importante setor da economia brasileira – em 2016, respondia por 7,3% do PIB do país (ABRAMAT/FVG, 2017). Dentro dessa cadeia, incluem-se os elos: construção civil, indústria e comércio de materiais, os serviços, máquinas e equipamentos e outros fornecedores, sendo o elo construção o mais representativo, tanto em participação no PIB como em quantidade de pessoas ocupadas.

Historicamente, a evolução das edificações e processos construtivos acontece à medida que são descobertos novos materiais e métodos, estando sempre associada ao contexto histórico, social, político e econômico da época. No Brasil, as construções habitacionais tiveram sua “Era de Ouro” após a crise internacional iniciada em 2008, com as medidas de incentivo pra construções de habitações, como o Minha Casa Minha Vida.

1.2 Planejamento de obras

Em qualquer situação em que se almeja atingir um objetivo, o primeiro passo é o planejamento. Sua definição, em qualquer contexto, está relacionada com o futuro, baseando-se na situação presente. Uma definição formal dessa ideia é apresentada por Magalhães et. al. (2018), citando Formoso (2001), colocando planejamento como: “[...]

um processo gerencial, que envolve o estabelecimento de objetivos e a determinação dos procedimentos necessários para atingi-los, sendo eficaz quando realizado em conjunto com o controle.”

Na construção civil, Mattos (2010) aponta a ausência e a inadequação do planejamento nas obras, principalmente em obras de pequeno e médio porte. Comumente, o grande responsável nas obras pelo planejamento é o engenheiro. Entretanto, esse possui usualmente uma formação gerencial deficiente e, como em muitas obras há um cronograma físico-financeiro deficitário e uma falha no controle, acaba se tornando um “solucionador de problemas” muito mais do que um gerente.

Mattos (2010) aborda essa questão como o “mito do tocador de obras”. Segundo ele, há no cenário nacional a valorização do profissional que não realiza o devido planejamento, que é considerado perda de tempo, e assume uma postura de tomar decisões rapidamente, baseando-se na experiência e intuição. A informalidade e a despreocupação com o desperdício tornaram essa figura do “tocador de obras” muito mais recorrente do que a do “gerente” – ao contrário do que ocorre em países mais desenvolvidos, em que inclusive encarregados e mestres depreendem muito mais tempo programando e analisando as tarefas que serão desenvolvidas posteriormente.

Essa tradição de construir não dando a devida atenção ao planejamento priva as obras brasileiras de uma série de benefícios, tornando a construção menos eficiente, dificultando o cumprimento dos prazos e aumentando o desperdício e retrabalho, causando um encarecimento da obra e menor lucro para o construtor.

O planejamento da obra permite ao gestor um maior grau de conhecimento do empreendimento. Mattos (2010) apresenta os principais benefícios de se realizar o planejamento de uma obra, a se destacar: conhecimento pleno da obra, agilidade de decisões, otimização de alocação de recursos, padronização, referência para metas, documentação e rastreabilidade e profissionalismo. Esse, então, se configura como um processo cíclico continuado, sendo ele a primeira atividade a ser desenvolvida e continua a ser feito até que o projeto seja completamente concluído.

1.3 Controle de obras

Controle é o processo de lidar com as criações dos planos durante a sua implementação, fazendo ajustes que permitam a operação atingir o objetivo mesmo que os pressupostos assumidos pelo plano não tenham sido atendidos (SLACK et. Al., 2009).

Planejamento e controle não são dissociáveis, ao passo que trabalham juntos na condução das atividades. Quanto mais minucioso o planejamento, menos haverá imprevistos. Similarmente, quanto mais preciso e racional for o controle, mais provável será que se cumpra o cronograma geral estabelecido no planejamento, uma vez que, com a observação e medições, até pequenas variações poderão ser percebidas e rapidamente consertadas. O sistema de controle integrado com o planejamento contínuo pode ser

resumido num ciclo sequenciado de quatro etapas básicas, representado na figura 1.

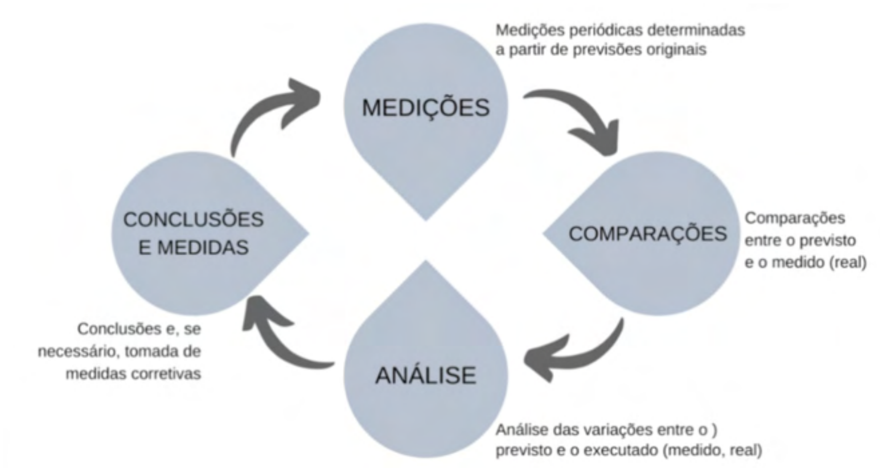


Figura 1 – Sistema de controle de uma ou um conjunto de atividades baseado no planejamento.

Fonte: adaptado de Slack et. Al. (2009).

2 | METODOLOGIA

A pesquisa, quanto à sua metodologia, pode ser caracterizada como exploratória e divide-se em duas etapas: fundamentação teórica e análise prática. De acordo com Heerdt e Leonel (2007), uma pesquisa exploratória é caracterizada principalmente pelo objetivo de se obter maior familiaridade com o assunto abordado, desencadeando um processo de investigação que busque entender a natureza de um fenômeno. No presente trabalho, buscamos compreender a gestão aplicada em obras residenciais de pequeno porte na cidade de Mossoró-RN, contextualizando com o cenário da construção civil nacional.

Na primeira etapa do trabalho utilizou-se de pesquisa bibliográfica, consultando-se livros, artigos, teses, relatórios e planilhas de dados. A segunda parte – análise prática – consistiu na investigação da configuração do setor da construção civil de Mossoró-RN em relação ao planejamento e à gestão de obras residenciais. Para tanto, foi feito um estudo de caso em cinco obras de uma construtora de médio porte em um condomínio de casas.

No estudo de caso deste trabalho adotou-se as fontes de evidências de observação direta e entrevistas (YIN, 2001). A observação direta foi realizada durante o período de abril a julho de 2019, observando-se diariamente o cotidiano das obras estudadas. As entrevistas foram realizadas no último mês desse período, caracterizando-se como semiestruturadas e tendo sido aplicadas ao engenheiro e aos mestres das obras. A elaboração das questões das entrevistas baseou-se nas questões utilizadas em pesquisa semelhante realizada por Tonetto (2016) e nas informações sobre planejamento e controle de obras encontradas em Mattos (2010). As questões foram escolhidas de maneira a abordar a percepção dos

mestres e do engenheiro sobre a gestão aplicada nas obras.

Depois das etapas exploratórias, realizou-se uma avaliação das ferramentas de planejamento e controle utilizadas pela empresa e, comparando-as com as apresentadas pela literatura, buscou-se perceber algumas relações entre os problemas apresentados nas obras e as falhas na execução das ferramentas, possibilitando, por fim, a sugestão de algumas adequações.

3 I RESULTADOS

Nas obras estudadas trabalham um total de 31 colaboradores diretos, divididos entre profissionais, ajudantes e mestres. Há ainda o engenheiro responsável pelas obras, dois estagiários e um responsável por suprimentos. Também estão envolvidos na construção alguns terceirizados que prestam serviços específicos e que variam sua quantidade dependendo da fase da obra. A estrutura organizacional geral da equipe é representada na figura 2.



Figura 2 – Organização da equipe da empresa estudada.

Fonte: autoria própria (2019).

Apesar dessas funções apresentadas, na prática a organização hierárquica é pouco determinada. As instruções em algumas situações são passadas diretamente do engenheiro para o profissional ou ajudante, sem que o mestre participe. É interessante observar que a literatura aponta essa como uma prática comum em pequenas obras e construtoras, devido à proximidade dos envolvidos.

Ainda nesse contexto, e também considerando a relativa simplicidade e primariedade das atividades de uma obra residencial unifamiliar, as sequências das atividades a serem desempenhadas provém principalmente da experiência dos profissionais, principalmente dos mestres.

A partir da observação e das entrevistas, pode-se classificar os principais problemas

enfrentados pela empresa estudada em relação ao planejamento e controle. A partir desses problemas, buscou-se objetivos que se relacionam com as suas soluções. Então, com essas informações, comparando-as com as informações presentes na literatura e também nas observações feitas pelos entrevistados – como sugestões e ideias de como poderiam ser melhorados os processos – elaborou-se o diagrama apresentado na figura 3. O diagrama é dividido em três colunas (problemas, objetivos e ações) e se organiza da seguinte maneira:

i. Coluna 1: Problemas

Nessa coluna foram colocados os problemas encontrados no gerenciamento das obras estudadas. Nota-se que essas dificuldades não são exclusivas dessa empresa, mas do setor e, principalmente, das pequenas empresas e obras. Destaca-se que um problema geral decorrente desses específicos é o atraso do prazo de algumas obras, entretanto esse não foi abordado no diagrama por acreditar-se que sua resolução advém da resolução dos problemas específicos.

ii. Coluna 2: Objetivos

Na coluna dos objetivos colocou-se o que deveria ocorrer na administração das obras de modo a solucionar os problemas. Todavia, podemos ver que alguns problemas são beneficiados por mais de um objetivo, para essa representação foram utilizadas as setas. Por exemplo: tornar alterações no projeto ou no procedimento de execução de uma determinada parte da obra claras para todos os envolvidos na construção auxilia na resolução do desencontro de informações, visto que todos possuíram a mesma informação, mas também evita um tipo de retrabalho – caso a adequação precisasse ser feita depois do serviço já executado.

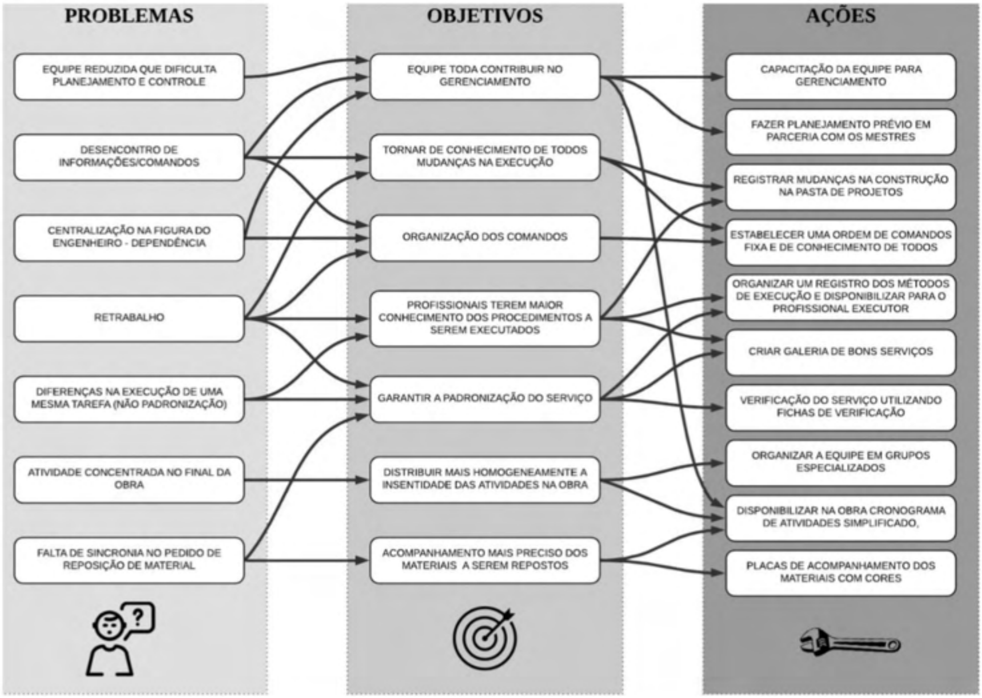


Figura 3 – Diagrama problemas-objetivos-ações.

Fonte: autoria própria (2019).

iii. Coluna 3: Ações

Na última coluna reuniu-se medidas para alcançar os objetivos, de modo a solucionar os problemas. Semelhante à coluna 2, pode-se ver que a maioria das ações contribuem individualmente para mais de um objetivo. Destacamos aqui a ação “Disponibilizar na obra cronograma de atividades simplificado”, que, mesmo sendo uma ação relativamente simples, consegue contribuir para vários objetivos.

4 I CONCLUSÃO

Entende-se que, como ocorre desde muito tempo, o planejamento e controle desempenhados através da oralidade e experiência têm um valor importante e muitas vezes conseguem atender às demandas das construções, principalmente as de menor porte.

Toda via, o contexto tecnológico e econômico da sociedade contemporânea aponta para a maior informatização e otimização da produção, em suas mais variadas vertentes. A construção civil, se atendo à tradição e a noção de que até o momento os processos clássicos e rudimentares têm funcionado, vem ficando atrás nessa realidade.

Dessa forma, acredita-se na importância de reunir esforços para melhor organizar a produção no canteiro de obras, valorizando os processos de planejamento e controle,

tornando-os indispensáveis em qualquer obra, de modo a aumentar a qualidade, a rapidez e diminuir os custos das obras, melhorando também o ambiente de trabalho, contando com a qualificação dos profissionais.

Para tanto, é indispensável contar com a experiência dos profissionais existentes do mercado, porém unindo seu conhecimento empírico com modernas possibilidades de organização de gerenciamento, de modo a elaborar uma gestão otimizada, produtiva, moderna, mas também acessível e realista, prezando pela satisfação do cliente e valorização do profissional.

Para dar continuidade aos esforços nessa direção, sugere-se para trabalhos futuros o aprofundamento nas medidas aqui sugeridas, avaliando os efeitos de suas aplicações na empresa estudada ou em empresas similares. É sugerida ainda a aplicação do estudo de caso em outras empresas, a fim de comparar os resultados obtidos.

REFERÊNCIAS

ABRAMAT/FVG. **Perfil da Cadeia Produtiva**. Edição 2017. Disponível em <http://www.abramat.org.br/lista-interna&codigo=9>. Acesso em 13 de maio de 2019.

ABRAMAT/FVG. **Perfil da Cadeia Produtiva**. Edição 2018. Disponível em <http://www.abramat.org.br/lista-interna&codigo=9>. Acesso em 13 de maio de 2019.

GONÇALVES, Robson**. Ciclo e tendência na construção civil**. 2015. Fundação Getúlio Vargas. Disponível em: <https://fgvprojetos.fgv.br/artigos/ciclo-e-tendencia-na-construcaocivil>.
Acesso em: 30 maio 2019.

HEERDT, Mauri Luiz; LEONEL, Vilson**. Metodologia Científica e da Pesquisa**. 5. ed. Palhoça: Unisulvirtua, 2007. Livro didático da disciplina de Metodologia Científica e da Pesquisa da Universidade do Sul de Santa Catarina.

MAGALHÃES, Rachel Madeira; MELLO, Luiz Carlos Brasil de Brito; BANDEIRA, Renata Albergaria de Mello. **Planejamento e controle de obras civis: estudo de caso múltiplo em construtoras no Rio de Janeiro**. Gestão & Produção, [s.l.], v. 25, n. 1, p.44-55, 1 jun. 2018.

MATTOS, Aldo Dórea. **Planejamento e controle de obras**. São Paulo: Pini, 2010.

PAIC/IBGE. **Estudos específicos da construção civil.** 2017. Disponível em <http://www.cbicdados.com.br/menu/estudos-especificos-da-construcao-civil/pesquisa-anualda- industria-da-construcao-paicibge> Acesso em 12 de maio de 2019.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

TONETTO, Mirela Schramm**. Avaliação da gestão da qualidade em obras prediais: um estudo de caso**. (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

YIN, Robert K.. **Estudo de Caso: Métodos e Planejamentos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. Tradução de: Daniel Grassi.

CAPÍTULO 6

AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DA SENSAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTE EXTERNO UNIVERSITÁRIO

Data de aceite: 01/03/2022
Data de submissão: 10/01/2022

Betty Clara Barraza de La Cruz
Universidade Federal do Tocantins, curso de Arquitetura e Urbanismo
Palmas – Tocantins
http://lattes.cnpq.br/6397468367348435

Lilian dos Santos Fontes Pereira Bracarense
Universidade Federal do Tocantins, curso de Engenharia Civil
Palmas – Tocantins
http://lattes.cnpq.br/9976897258946627

Fernanda Martins Milhomem
Universidade Federal do Tocantins, curso de Arquitetura e Urbanismo
Palmas – Tocantins
http://lattes.cnpq.br/3217921993104201

Isabela Maciel Macedo
Universidade Federal do Tocantins, curso de Engenharia Civil
Palmas – Tocantins
http://lattes.cnpq.br/5206515391458059

Laís Carolina dos Santos Mota
Universidade Federal do Tocantins, curso de Engenharia Civil
Palmas – Tocantins
http://lattes.cnpq.br/8824696902835888

Eduardo Castro Pereira
Universidade Federal do Tocantins, curso de Engenharia Civil
Palmas – Tocantins
http://lattes.cnpq.br/0254004707949715

RESUMO: A avaliação da sensação de conforto térmico de um indivíduo constitui um importante elemento para estabelecer as condições necessárias de um ambiente adequado às atividades e ocupação humanas. O Objetivo deste trabalho é avaliar a percepção da sensação do conforto térmico relatada por frequentadores da Universidade Federal do Tocantins (UFT). Como base de análise e avaliação, foram obtidos dados de 564 questionários abordando percepções térmicas de diversas situações e trajetos e dados da medição das variáveis ambientais. Os resultados permitiram relacionar as faixas de temperatura, umidade relativa e velocidade do vento de acordo com o nível de conforto percebido pelos pedestres. Ao se cruzar a percepção da sensação térmica dos entrevistados com os dados do ambiente observou-se diferentes padrões das variáveis para cada percepção, reforçando assim a necessidade de calibrar os índices de conforto térmico para cada cidade.
PALAVRAS-CHAVE: Conforto térmico. Espaços abertos. Percepção térmica.

EVALUATION OF THE PERCEPTION OF THE SENSATION OF THERMAL COMFORT IN UNIVERSITY EXTERNAL ENVIRONMENT

ABSTRACT: The assessment of an individual's sense of thermal comfort is an important element to establish the necessary conditions for an environment suitable for human activities and occupation. The objective of this work is to evaluate the perception of the sensation of thermal comfort reported by attendees of the Federal University of Tocantins (UFT). As a basis

for analysis and evaluation, data were obtained from 564 questionnaires addressing thermal perceptions of different situations and paths and data from the measurement of environmental variables. The results allowed us to relate the temperature ranges, relative humidity and wind speed according to the comfort level perceived by pedestrians. When crossing the perception of the thermal sensation of the interviewees with the data from the environment, different patterns of variables for each perception were observed, thus reinforcing the need to calibrate the thermal comfort indices for each city.
KEYWORDS: Thermal comfort. Open spaces. Thermal perception.

1 I INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o interesse na avalição de conforto térmico no Brasil aumentou devido às mudanças climáticas e ao aumento de estresse por calor nas cidades. Várias pesquisas têm sido voltadas à avaliação da sensação do conforto térmico em ambientes fechados. Mas, um número relativamente reduzido de estudos acadêmicos foram desenvolvidos sobre a percepção do conforto térmico para ambientes externos.

No Brasil, nos últimos 20 anos, a maior parte das pesquisas realizadas para avaliar a sensação térmica se concentra nas regiões Sudeste e Nordeste, utilizando os índices *Predicted Mean Vote* (PMV) (KATZSCHNER *et al*., 1999; ANANIAM *et al*., 2005; KATZSCHNER, 2005; BORGES; LABAKI, 2006; BRUSANTIN; FONTES, 2009; FERREIRA; SILVA, 2015), *Physiological Equivalent Temperature* (PET) (COSTA; ARAÚJO, 2002; ARAÚJO; CARAM, 2004; TORRES; BARBIRATO, 2004; MONTEIRO, 2008; HIRASHIMA, 2010; SOUZA, 2010; ROSSI, 2012; ANDRADE *et al*., 2015; HIRASHIMA *et al*., 2016; HIRASHIMA; ASSIS; NIKOLOPOULOU, 2016; HIRASHIMA *et al*., 2017) e *Universal Thermal Climate Index* (UTCI) (ROSSI; KRÜGER; BRÖDE, 2012; MONTEIRO; ALUCCI, 2012; NINCE *et al*., 2013; SILVA *et al*., 2017). Pesquisadores tais como Costa (2003), Monteiro (2008), Hirashima (2010), Souza (2010) e Rossi (2012), mostram que os índices PMV e PET podem não ser adequados para avaliar o conforto térmico quando comparados à sensação térmica real observada em levantamentos *in loco*. Na região Norte do Brasil onde está inserida Palmas-TO, as pesquisas sobre conforto térmico em ambientes externos são escassas.

A cidade de Palmas, última capital brasileira projetada para o novo Estado do Tocantins no ano de 1989, localiza-se na zona climatológica 7 e possui registro de altas temperaturas durante todo o ano (INMET, 2018). Tendo em vista a suas características climáticas, sobretudo a temperatura, um olhar mais atento deve ser lançado sobre conforto térmico em ambientes externos, de forma a auxiliar no planejamento desses espaços em condições que propiciem maior conforto. Deve-se considerar ainda que, não somente a temperatura pode ser um fator limitante ao atendimento de padrões mínimos de conforto térmico, mas também a velocidade do vento e a umidade. Embora não sejam variáveis que alterem diretamente a tempertura do ambiente, atuam na sensação térmica do corpo.

Na capital tocantinense, está localizado o principal câmpus da Universidade Federal do Tocantins (UFT), o qual sofre com a ausência de estrutura que atenda com qualidade às necessidades dos usuários. Este estudo busca compreender a sensação de conforto térmico dos pedestres do câmpus UFT-Palmas. O trabalho avalia as condições ambientais e a percepção da sensação do conforto térmico relatada por professores, alunos, técnicos e outros indivíduos que frequentam o câmpus universitário. A investigação foi realizada por meio da aplicação de questionários e medição das variáveis ambientais *in loco*, efetuada por Pereira (2016), simultaneamente ao longo dos meses de setembro e outubro de 2016.

2 | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Palmas, a cidade onde está inserido o local de estudo de caso é a última cidade planejada do século XX, contendo atualmente cerca de 287 mil habitantes (IBGE, 2017). O assentamento de sua pedra fundamental foi realizado no dia 20 de maio de 1989 (pouco tempo depois da criação do Estado), e o seu plano de ocupação foi previsto inicialmente para ser ocupado em etapas como justificativa para tornar a cidade mais compacta.

No entanto, a cidade sofreu desde o princípio com a especulação imobiliária e interesses políticos que fizeram com que tivesse uma ocupação e consequente crescimento desordenado. Isso acabou por gerar uma baixa densidade e vazios urbanos que perduram até hoje.

Localizada no Estado do Tocantins, na latitude 10º10'01" Sul, longitude 48º19'59" Oeste, com altitude média de 230 m (IBGE, 2017), a cidade possui apenas 29 anos. Acredita-se que seja por este motivo os estudos escassos sobre o conforto térmico. Palmas apresenta variações climáticas com tendência à prevalência de altas temperaturas e altas amplitudes térmicas durante o período seco (FREITAS; SOUZA, 2016).

Na cidade de Palmas o vento, uma das variáveis mais importantes para as atividades humanas, possui direções variáveis de acordo com a época do ano e período do dia. Há incidência de ventos durante todo o ano, e uma clara tendência de predominância de ventos vindos de Norte e Leste (GONÇALVES, 2009; SOUSA *et al*., 2011).

Por meio da análise dos dados meteorológicos do estudo realizado em Palmas pelo Laboratório de Climatologia e Meteorologia da UFT (2013) verifica-se que: a predominância dos ventos permanece numa faixa entre Sudeste – 140,2º e Sudoeste - 234º, a direção pontual é apontada em 175,3º, praticamente na direção Sul 180º; a velocidade do vento varia entre 1,1 e 1,6 m/s; a umidade relativa média com 72,5%, numa variação entre 51,9% nos meses de agosto e 82% nos meses de janeiro; foi observada grande variação de temperatura média de 26,7ºC, oscilando entre 37,8ºC, média máxima dos meses de setembro, e 17,0ºC, média mínima dos meses de julho; em relação às chuvas o mês que aparece com maior precipitação é em janeiro e menor em julho; já quanto à radiação solar global destaca-se o mês de agosto.

Em Palmas, a pesquisa foi realizada no câmpus da Universidade Federal do Tocantins (UFT) (Figura 1). A UFT tem cerca de 18 mil alunos. São 62 cursos de graduação, 17 mestrados acadêmicos, 12 mestrados profissionais e 6 doutorados. No câmpus de Palmas são ofertados 17 graduações e 16 mestrados. Quanto a quantia de alunos no câmpus de Palmas, são aproximadamente 9 mil. (UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS, 2017). O câmpus da UFT-Palmas se localiza na porção Norte da cidade, próximo ao lago e possui cerca de 320.000 m² de área.

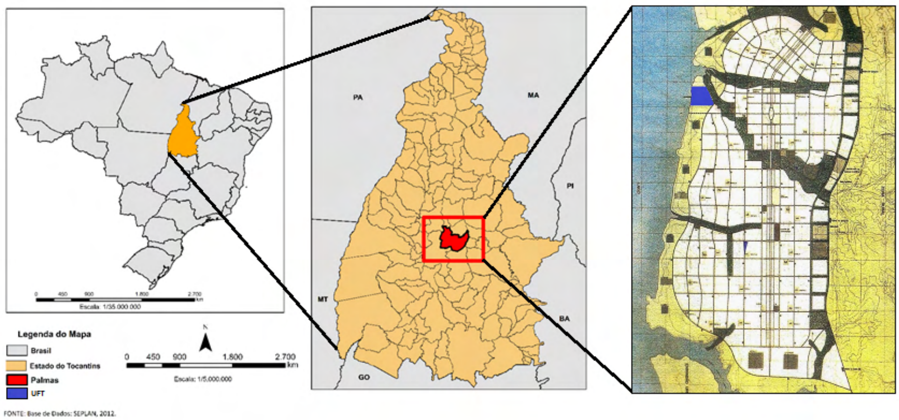


Figura 1 - localização da Universidade Federal do Tocantins.

Quanto às características do espaço físico do câmpus da UFT-Palmas, é relevante descrever sua ocupação esparsa, marcada por inúmeros blocos desconectados e outros com conexões insuficientes. A locomoção de pedestres nesse espaço faz-se na maioria das situações de forma incômoda independente da estação do ano, visto que os toldos (cobertura têxtil tensionda) existentes em alguns techos do câmpus universitário, não suprem a necessidade de cobertura em épocas chuvosas e em épocas de sol o sombreamento ocorre de forma insuficiente, projetando a sombra para fora do traçado do calçamento.

3 | METODOLOGIA

Apresenta-se aqui o levantamento de campo realizado com o objetivo da obtenção de dados empíricos para avaliar as condições ambientais e a percepção da sensação do conforto térmico dos usuários do câmpus UFT-Palmas. Este trabalho utilizou os dados coletados por Pereira (2016). Em seguida, são apresentados os métodos e os procedimentos de quantificação das variáveis ambientais e subjetivas.

3.1 Levantamento de campo

O levantamentos de campo foi efetuado em espaços abertos no principal câmpus da

Universidade Federal do Tocantins, localizado, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na Mesorregião Oriental do Estado, apresentando 10°12’46’’ de latitude Sul, 48°21’37’’ de longitude Oeste e altitude média de 280 metros com relação ao nível do mar, na região Norte do Brasil.

Para a realização dos procedimentos, foram estabelecidos três pontos de coleta de dados, visando à determinação das variáveis ambientais (temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do ar). O primeiro ponto representa a situação sem proteção ao ar livre, o segundo retrata a situação com proteção arbórea (simulando o corredor verde) e o terceiro ponto corresponde à cobertura têxtil tensionda (Toldo).

Os equipamentos utilizados em cada ponto de coleta são da estação meterológica *Professional Touch Screen Weather Center with PC Interface,* contendo: termômetro de bulbo seco, anemômetro (medidor da velocidade do ar) e higrômetro (medidor de umidade). Estes equipamentos foram fornecidos pelo curso de Engenharia Ambiental da UFT-Palmas. As medições de temperatura de globo, umidade relativa e velocidade do vento foram feitas no horário das 09:30 às 16:15 horas a cada cinco minutos, pela estação meteorológica móvel.

Juntamente com a mensuração dos dados ambientais foram aplicados os questionários. Para o câmpus de Palmas, a amostragem mínima seria de 362 entrevistados, a determinação da amostra mínima para pesquisas em populações finitas seguiu recomendações de Levine (2000). Para o cálculo da amostra foi adotado o erro amostral admitido de 5% e nível de confiança de 95%. Os dados foram coletados no final de setembro e meados de outubro, isto devido ser a data em que os equipamentos necessários estavam disponíveis para a investigação. Apesar da pesquisa não ter sido realizada em sua totalidade no período de estiagem, foi possível tirar conclusões pertinentes a respeito da relação entre a temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e os níveis de conforto percebido pelos pedestres. Os levantamentos foram realizados com 27 pesquisadores no horário das 09:30 às 16:15 horas.



Figura 2 - Pontos determinados no câmpus UFT-Palmas para a coleta de dados.

Fonte: Google Earth (2018) Adaptado.

Na Figura 2 são representadas as localizações, por meio de imagem retirada do Google Earth, que representa os pontos de coletas de dados no câmpus da UFT-Palmas. As representações dos pontos de coletas de dados marcadas na cor amarela, indicam os pontos de aplicação do questionário e das medições de temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento.

3.2 Descrição das variáveis climáticas

O monitoramento das variáveis climáticas foi realizado em 3 dias, não consecutivos no período de setembro a outubro, durante seis horas e 15 minutos (09:30 às 16:15), atingindo um total de mais de 1875 minutos de pesquisa *in loco*.

As condições climáticas nos três dias da coleta de dados foram as seguintes:

I. No primeiro dia, 21 de setembro, o tempo estava com predomínio de sol com formação de nuvens a partir das 15 horas e 45 minutos, apresentando no intervalo de medição a temperatura máxima de 42°C no horário das 15 horas e 19 minutos e tendo uma média no mesmo intervalo de 37,07°C.;

II. No segundo dia da coleta de dados, 28 de setembro, o dia estava nublado, apresentando a temperatura máxima de 37,1°C nas 14 horas e 40 minutos e tendo uma média de 33,05°C no período;

III. No terceiro dia, o dia amanheceu ensolarado, 19 de outubro, registrando nas 09 horas e 20 minutos uma temperatura de 35,6°C. O registro de maior temperatura ocorreu às 11 horas e 40 minutos com um valor de 39,3 °C, posterior a este horário a temperatura passou a cair, proporcionando uma média no intervalo de medição de 32,7°C (Figura 3).



Figura 3 - Pontos de aplicação no levantamento de dados.

Fonte: Pereira (2016) Adaptado.

3.3 Descrição das variáveis subjetivas

As variáveis subjetivas quantificadas neste estudo dizem respeito à percepção de sensação térmica. A sensação de conforto térmico é definida pela *American Society of Healting Refrigeranting and Air Coditioning Engineers* (ASHRAE, 1981), como o estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico. Essa definição indica que a sensação do conforto depende tanto de aspectos subjetivos (o estado do espírito do indivíduo) como também de aspectos físicos do ambiente (o ambiente térmico). A percepção dos usuários sobre o conforto térmico no câmpus UFT-Palmas foi avaliada por meio da aplicação do questionário realizada nos três pontos de coleta simultaneamente com as medições das variáveis ambientais. A questão relacionada à identificação da sensação térmica percebida pelos usuários apresentou as seguintes opções: (1) Muito incômodo; (2) Incômodo; (3) Pouco incômodo e (4) Nenhum incômodo.

I. Primeiro ponto de aplicação do questionário**,** o ponto de coleta de dados correspondente à situação com passeios sem cobertura, ao ar livre, é

classificado como o primeiro ponto de aplicação do questionário. Para determinar o conforto térmico neste ponto foram realizados dois dias de pesquisa sendo o primeiro dia no 28 de setembro (92 amostras) e o segundo dia no 19 de outubro (135 amostras). As aplicações dos questionários foram feitas simultâneamente com o segundo ponto de coleta, este procedimento foi adotado na tentativa de otimizar a pesquisa;

II. Segundo ponto de aplicação do questionário**,** a situação que caracteriza o passeio com cobertura feita pelos dosséis das árvores que estão localizadas nas laterais do calçamento é identificada como o segundo ponto de aplicação do questionário. Para determinar o conforto térmico, neste ponto, foram realizadas pesquisas durante dois dias entre os horários 09:30 às 16:15, 28 de setembro (98 amostras) e 19 de outubro (135 amostras);

III. Terceiro ponto de aplicação do questionário**,** o ponto de coleta de dados correspondente à situação com passeios com cobertura de toldo é o terceiro ponto de aplicação do questionário. Para determinar o conforto térmico neste ponto foi necessário apenas um dia de pesquisa, 21 de setembro para obtenção do número mínimo de questionários confiáveis (143 amostras).

Foram selecionados pontos com diferentes tipos de cobertura que interferem nas variáveis analisadas, no intuito de ampliar as possibilidades de respostas e variabilidade dos dados. Pereira (2016) também avaliou a contribuição de cada tipo de cobertura para melhoria do conforto térmico.

4 I RESULTADOS

Com o propósito de relacionar as variáveis climáticas com a percepção dos transeuntes, os dados de temperatura, umidade relativa e velocidade do vento foram cruzados para verificar a diferença existente entre as condições climáticas dos pontos de coleta de dados.

A análise das condições de conforto térmico em ambientes externos do câmpus universitário de Palmas, permitiu evidenciar a sensibilidade térmica dos usuários às variações diárias e sazonais das condições de tempo. A Tabela 1 apresenta o resultado do cruzamento de dados das variáveis ambientais com os dados do nível de conforto percebido pelos usuários do câmpus da UFT-Palmas nos três pontos de coleta, de forma agregada.

Percepção Térmica	**Temperatura (°C)**		**Umidade (%)**		**Vento (m/s)**	
Muito incômodo	Mínima	26,7	Mínima	32	Mínima	0
	Máxima	41,9	Máxima	81	Máxima	2,7
	Mediana	32,7	Mediana	64	Mediana	0,3
	Média	33,2	Média	60,2	Média	0,6
	Desvio padrão	3,9	Desvio padrão	11,9	Desvio padrão	0,6

Incômodo	Mínima	27,8	Mínima	32	Mínima	0
	Máxima	41,9	Máxima	80	Máxima	3.4
	Mediana	32,4	Mediana	63	Mediana	0,3
	Média	33,2	Média	60,3	Média	0,6
	Desvio padrão	3,9	Desvio padrão	12,2	Desvio padrão	0,7
Pouco incômodo	Mínima	27,7	Mínima	35	Mínima	0
	Máxima	41,1	Máxima	80	Máxima	5,4
	Mediana	31,8	Mediana	65	Mediana	0,3
	Média	32,5	Média	63	Média	0,6
	Desvio padrão	3,4	Desvio padrão	11,3	Desvio padrão	0,8
Nenhum incômodo	Mínima	26,7	Mínima	45	Mínima	0
	Máxima	35,8	Máxima	83	Máxima	3,4
	Mediana	28,8	Mediana	74	Mediana	0,3
	Média	29,5	Média	72,2	Média	0,7
	Desvio padrão	2,0	Desvio padrão	8,1	Desvio padrão	0,9

Tabela 1 - Percepção da sensação de conforto térmico e dados do ambiente.

A variável temperatura apresenta menor variação em relação a umidade relativa e velocidade do vento, o que pode significar que existe homogeneidade na percepção de sensação do conforto térmico.

A umidade relativa apresentou a segunda menor variabilidade comparada com as outras variáveis ambientais.

A variável velocidade do vento apresenta maior variabilidade, explicada em grande parte pelo fato dessa variar excessivamente nas mais diversas situações ambientais de calor ou frio. Em situações de muito calor maiores velocidades do ar seriam desejáveis. Contudo, no estudo nota-se que os entrevistados preferem maior velocidade do vento em situações de maior calor devido ao efeito dessa na sensação térmica global, e não necessariamente devido à percepção específica dela.

A Figura 4 permite identificar que houve concidência dos valores observados classificados como “Muito incômodo”, “Incômodo” e “Pouco incômodo”. É possível perceber uma distinção mais significativa em relação à classificação “Nenhum incômodo”, associada às menores temperaturas observadas e maiores valores de umidade relativa.

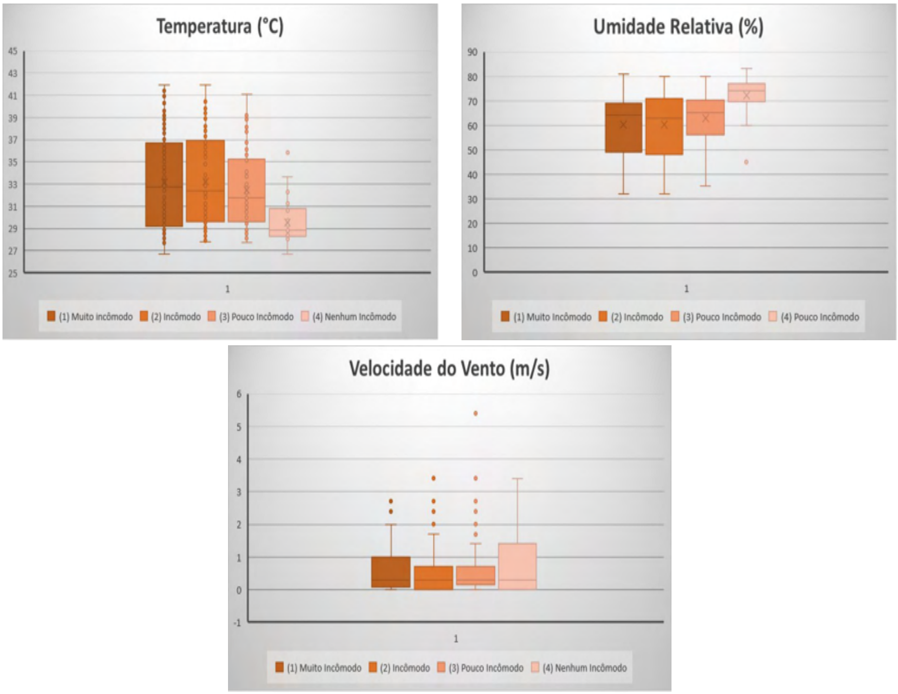


Figura 4 - Faixa de temperatura, umidade relativa e velocidade do vento relacionada aos níveis da percepção térmica.

A Tabela 2 mostra as faixas da percepção de sensação térmica em que não foi percebido incômodo pelos transeuntes, para cada uma das variáveis analisadas. Observa-se que foi possível atingir essa percepção mesmo em temperaturas consideradas elevadas em outras avaliações (COSTA; ARAÚJO, 2004; MONTEIRO, 2008; LABAKI *et al*., 2012; HIRASHIMA *et al*., 2016), quando as temperaturas ocorrem associadas as umidades mais elevada e vento.

Sensação Térmica Nenhum Incômodo	**Faixas**
Temperatura (°C)	26,7 ≤ Temperatura ≤ 35,8
Umidade relativa (%)	45 ≤ Umidade relativa ≤ 83
Velocidade do vento (m/s)	0 ≤ Velocidade do vento ≤ 3,4

Tabela 2 - Faixas climáticas da percepção térmica de nenhum incômodo.

5 I CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao se cruzar a percepção da sensação térmica dos entrevistados com os dados do ambiente observou-se diferentes padrões das variáveis para cada percepção, reforçando assim a necessidade de modelar ou calibrar o índice de conforto térmico para a cidade de Palmas-TO.

Como a percepção de sensação de conforto térmico do ser humano resulta da interação de diversas variáveis ambientais, físicas, biológicas e subjetivas individuas e coletivas, faz-se necessária a proposta de uma nova modelagem por meio da correlação das diversas variáveis ambientais e individuais com as respostas subjetivas. A correlação de múltiplas variáveis seria realizada por meio de regressões lineares e não lineares, para fornecer resultados significativos. O modelo deve ser testado ou calibrado para cada condição climática e sua respectiva população para assim poder ser utilizado como ferramenta de gestão pública.

REFERÊNCIAS

ANANIAN, P.; FONTES, M. S. G. C.; SILVA, B. Avaliação quanto ao desempenho térmico de equipamento urbano no calçadão de Bauru. *In*: **VII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, Maceió, Al., 2005, p. 47 – 54.

ANDRADE, T. C. Q.; NERY, J.; MIRANDA, S.; FREIRE, T.; PITOMBO, C.; KATZSCHNER, L. Calibration of comfort PET index (°C) using decision tree. *In*: **9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment**, Touluse, 2015.

ARAÚJO, B.; CARAM, R. Análise ambiental: estudo bioclimático em centro histórico. *In*: **II Encontro da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade** (ANPPAS), Indaiatuba, São Paulo, 2004.

ASHRAE. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: ANSI/ASHRAE Standard, 1981.

BORGES, M.; LABAKI, L. Conforto térmico em espaços externos: preferência dos usuários e índices de conforto. In: COTEDI 2005. **Memorias [...] México: UAM.**

BRUSATIN, G. N.; FONTES, M. S. G. C. Conforto térmico em espaços públicos de permanência: uma experiência na cidade de Bauru – SP, **X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Natal 16-18 Setembro, 2009.

Costa, A. D. L. **Análise bioblimática e investigação do conforto térmico em ambientes externos**: uma experiência no bairro de Petrópolis, em Natal /RN. 2003. 183 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

COSTA, A. D. L.; ARAÚJO, V. M. D. Em busca da sustentabilidade para espaços urbanos. *In*: NUTAU, 2002. **Anais […]** São Paulo.

COSTA, A. D. L.; ARAÚJO, V. M. D. Thermal comfort in open spaces: the users' perspective to warm-humid climate. **Plea 2004, The 21th Conference on passive and low energy architecture**. Eindhoven, The Netherlands, September 2004, p. 1 - 6.

FERREIRA, J. V.; SILVA, L. F. G. Avaliação dos conforto térmico urbano em estação quente e seca na praça dos Girassóis, Palmas-TO. **VI JICE**, IFTO, 2017, p. 1- 8.

FREITAS, T. P. F.; SOUSA, L. B. Aspectos do clima urbano de Palmas-TO no episódio de outono-inverno. **Revista online – Caminhos de Geografia**, 2016. Disponível em: <www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/>. Acesso em: 13 abr. 2018.

GONÇALVES, C. E. C. **Ruas confortáveis, ruas com vida:** proposição de diretrizes de desenho urbano bioclimático para vias públicas. 2009. 93 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

HIRASHIMA, S. Q. S. **calibração do índice de conforto térmico temperature fisiológica equivalente (PET) para o município de Belo Horizonte, MG**. 2010. 225 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

HIRASHIMA, S. Q. S.; ASSIS, E. S.; NIKOLOPOULOU, M. Daytime thermal comfort in urban spaces: A field study in Brazil. **Building and Environment,** v. 107, 2016, p. 245-253.

HIRASHIMA, S. Q. S.; FERREIRA, D. G.; ASSIS, E. S.; KATZSCHNER, L. Evaluation of the PET thermal comfort index calibration methods used in Brazil. **PLEA 2017 Proceedings**, v. I, p. 1124-1131.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2017. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/. Acesso em: 10 fev. 2018.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. 2018. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/. Acesso em: 13 fev. 2018.

KATZSCHNER, L.; FREIRE, T.; NERY, J.; ANDRADE, T.; CARVALHO, L. Urban climate study of Salvador: thermal comfort pattern. *In*: ENCAC, 5., ELACAC, 2. **Anais […]** Fortaleza, 1999.

KATZSCHNER, L. The contribution of urban climate studies to a new urbanity. *In*: ENCAC, 8., ELACAC 4. **Anais […]** Maceió, 2005.

LABAKI, L. C.; FONTES, M. S. G. C.; BARTHOLOMEI, C. L. B.; DACANAL, C. Conforto térmico em espaços públicos de passage: estudos em cidades do Estado de São Paulo. **Ambiente Construído**, v. 12, p. 167-183, jan. /mar. 2012.

LEVINE, D. M.; BERENSON, M. L.; STEPHAN, D. **Estatística:** teoria e aplicações usando Microsoft Excel em Português. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

MONTEIRO, L. M. **Modelos preditivos de conforto térmico**: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos. 2008. 378 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) USP, São Paulo, 2008.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Modelo Adaptativo de Conforto Para Avaliação in loco de Espaços Urbanos Abertos. **Ambiente Construído***,* Porto Alegre, v. 12, n. 1, 2012, p. 61- 79.

NINCE, P. C.; MUSIS, C. R.; BIUDES, M. S.; NOGUEIRA, J. S.; NOGUEIRA, M. C. J. A. Usos dos Índices PET e UTCI na Avaliação do Conforto Termal no Campus da UFMT em Cuiabá-MT. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 9, n. 9, 2013, p. 2026-2036

PEREIRA, E. C. **Avaliação da influência do conforto térmico no índice de caminhabilidade**: contribuição de corredores verdes para o pedestre no campus de Palmas da Universidade Federal do Tocantins. 2016. 105 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2016.

ROSSI, F. A. **Proposição de metodologia e de modelo preditivo para avaliação da sensação térmica em espaços abertos em Curitiba**. 2012. 188 f. Tese (Doutorado em Tecnologia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

ROSSI, F. A.; KRÜGER, E. L.; BRÖDE, P. Definição de Faixas de Conforto e Desconforto Térmico Para Espaços Abertos em Curitiba, PR, com o Índice UTCI. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, 2012, p. 41-59.

SILVA, L. F. G.; FERREIRA, J. V.; SILVA, M. R. N. Avaliação dos índices PET e UTCI em espaços públicos centrais, Palmas, Tocantins. **Revista sítio novo**, IFTO, v. 1, 2017, p. 168- 189.

SOUSA, E. S.; SILVA, R. A.; MACIEL, G. F.; NUNES, R. G.; BORGES, F. W. L. Estudo da variabilidade interanual da temperatura do ar e precipitação pluviométrica na cidade de Palmas – TO no período de 1995 a 2009. **XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Guarapari, 2011.

SOUZA, S. H. M. **Avaliação do desempenho térmico nos climas das praças**: Piedade e Visconde de Cayrú, Salvador /BA. 2010. 203 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

TORRES, S.; BARBIRATO, G. Qualidade bioblimática de espaços públicos urbanos: um estudo de caso em conjuntos habitacionais de Maceió, Alagoas. *In*: NUTAU 2004. **Anais […]** São Paulo, 2004.

CAPÍTULO 7

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DO CICLO DE VIDA DOS MATERIAIS DE UM PAINEL PRÉ-MOLDADO

Data de aceite: 01/03/2022

Aline Islia Almeida de Sousa
Cisne Faculdade de Quixadá
Quixadá – Ceará
http://lattes.cnpq.br/6634910866089855

Adeildo Cabral da Silva
Instituto Federal do Ceará
Fortaleza – Ceará
http://lattes.cnpq.br/4249504075130204

João Paulo Sousa Costa de Miranda Guedes
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Porto - Portugal
http://lattes.cnpq.br/3962230920774206

RESUMO: Foram especificados os materiais dos painéis pré-moldados com base no Documento de Avaliação Técnica (DATec) e avaliados os impactos do ciclo de vida (AICV) dos materiais de um painel utilizando o *software* SimaPro versão 8.0.3.14. Os impactos foram aferidos pelo método ReCiPe, biblioteca do EcoInvent e *European Life Cycle Database* (ELCD). Os principais materiais dos DATecs são: concreto, aço, tijolo cerâmico, argamassa. Todavia, o que os diferencia são os processos de fabrico e/ou as respectivas quantidades de cada elemento utilizadas na produção do painel. Os resultados mostram que o material que mais impactou foi o concreto, sendo o mesmo aplicado em várias estruturas.

PALAVRAS-CHAVE: AICV; Construção; Processo.

EVALUATION OF THE LIFE CYCLE IMPACTS OF THE MATERIALS OF A PRECAST PANEL

ABSTRACT: The precast panel materials were specified based on the Technical Assessment Document (DATec) and evaluated the life cycle impacts of the materials of a panel using SimaPro software version 8.0.3.14. The impacts were measured using the ReCiPe method, library of the EcoInvent and the European Life Cycle Database (ELCD). The main materials of the DATecs are: concrete, steel, ceramic block, mortar. However, the distinction between them is the manufacturing processes and/or the respective amounts of each element used in the manufacture of the panel. The results show that the material that most impacted was the concrete, being the same used in several structures.

KEYWORDS: LCIA; Construction; Process.

1 | INTRODUÇÃO / JUSTIFICATIVA

A construção civil tem um peso significativo no crescimento dos países, principalmente naqueles em desenvolvimento (CONDEIXA, 2013; IVE; GRUNEBERG, 2000; KHAN, 2008; RANGELOVA, 2015), uma vez que, a sua atividade relaciona-se de forma direta com a economia, com a geração de emprego e renda e é por meio dela que se produz toda a infraestrutura de portos, ferrovias, rodovias, energia, habitações e outros (SOUZA *et al.,* 2015; STASIAK-BETLEJEWSKA; POKÁNY, 2015).

Este crescimento é impulsionado por investimentos industriais, como também por apoios governamentais, como políticas fiscais, programas de concessão de subsídios, sendo a maior parte destes investimentos encaminhada a habitações de interesse social[1] (LASSIO, 2013).

O enfoque habitacional popular tem um histórico bastante longo desde a década de 60, devido à queda no setor da construção civil, e como forma de resolver os problemas de crescimento exponencial da demanda por moradias e *déficit*, o Governo criou o Banco Nacional da Habitação (BNH) e a Companhia de Habitação Popular (COHAB) com o objetivo da criação em massa de domicílios através de conjuntos habitacionais (SOUZA *et al.,* 2015).

O MCMV foi criado pela Lei nº 11.977, de 7 de julho de 2009 alterada para Lei nº 12.424, de 16 de junho de 2011 (BRASIL, 2011). Esse programa favorece o crescimento da indústria da construção (CBIC, 2008; LACERDA, 2014), com a produção de aproximadamente de 1000 casas por dia (PORTAL BRASIL, 2016).

Em 2014, foram contabilizados no setor habitacional 67 milhões de domicílios particulares permanentes, havendo um aumento de 1,9 milhões em relação ao ano de 2013 (PESQUISA NACIONAL POR AMOSTRA DE DOMICÍLIOS – PNAD, 2015). Entretanto, dados do PlanHab estimam a produção de 28 milhões de moradias até 2023 (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL - ABDI, 2009).

Para atender esta demanda habitacional, usam-se alternativas rápidas, com materiais convencionais, ou não convencionais[2]. É neste âmbito que se encaixam os sistemas construtivos com pré-moldados e/ou pré-fabricados. Os pré-fabricados são produzidos fora do canteiro de obra, ou seja, numa fábrica especializada. Já os pré-moldados são produzidos no próprio canteiro. Todavia, informações referentes a habitações construídas por esses modelos construtivos são escassas na literatura (BRUMATTI, 2008).

Estas soluções construtivas têm combinações de materiais, e a expansão habitacional por meio deles traz consigo um grande consumo de insumos. Em 2011 a indústria de materiais retribuiu com 17% do Produto Interno Bruto (PIB) na cadeia produtiva, constituindo a segunda maior contribuição do PIB da cadeia da construção (FIRJAN, 2017).

O crescimento por materiais de construção reflete no grande consumo de matérias-primas e energia (LASSIO, 2013), basicamente em todas as fases do ciclo dos materiais, como: extração, fabricação, transporte, uso e descarte, gerando impactos no ambiente e na sociedade.

Nessas circunstâncias, volve necessário um estudo sobre avaliação dos impactos que a indústria da construção civil engloba. Para isto, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), é uma metodologia em uso no setor construtivo para a tomada de decisão, permite, por meio

---

1 São habitações que atinge de forma especial a população de menor poder aquisitivo (CEARÁ, 2005).

2 São denominados de materiais convencionais ou industrializados, o cimento Portland, aço, cerâmica, concreto, alumínio de uso comum. Já o termo não-convencional tem-se o a terra crua (BARBOSA, 2003).

de um inventário de entradas (matéria-prima, transportes etc.) e saídas (emissões etc.), quantificar impactos no ambiente, como também averiguar o desempenho de determinado material, ou edificação ao longo da sua vida útil (CAMPOS, 2012; LI; ZHU; ZHANG, 2010).

Então, torna-se justificável explorar os modelos construtivos que surgem no Brasil pelos DATecs e avaliar os impactos ambientais dos materiais por meio da metodologia ACV usando o *software* SimaPro versão 8.0.3.14.

2 | AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

A ACV é uma metodologia que pode ser usada para avaliar sistemas complexos como edificações (PASSUELLO, 2014) ou de forma isolada por etapas, como (produtos, utilização e fim de vida) (BRAGANÇA; MATEUS, 2012), ou seja, essa avaliação inclui todo o ciclo de vida do produto, processo ou atividade (SOARES; MATOS, 2011).

O início dos estudos sobre ACV e os impactos dos produtos ocorreu na década de 60 com o objetivo de comparar produtos, nomeadamente se o produto A seria melhor do que o produto B (GUINÉE; HEIJUNGS; HUPPES, 2011).

A primeira entidade que se preocupou com a padronização dos termos da ACV foi a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC), que com a ISO tem estado envolvida neste assunto desde 1994 (GUINÉE; HEIJUNGS; HUPPES, 2011).

Desse modo, existem padrões internacionais que tratam sobre a metodologia ACV: a ISO 14040, a primeira publicada em 1997, que retrata Normas e Princípios Gerais e Procedimentos, e a norma ISO 14041, publicada em 1998, que aborda o inventário (CHEHEBE, 1997).

Até 2006 existiam as normas de Gestão Ambiental em ACV: ISO 14.040 (1997); ISO 14.041 (1998); ISO 14.042 (2000); ISO 14.043 (2000), e a partir de 2006 estás foram copiladas para ISO 14.040 (2006) e 14044 (2006). No Brasil essas normas são chamadas de ABNT NBR ISO 14040 e 14044. Na norma ISO 14.040 (2009) são definidas quatro fases metodológicas distintas para ACV (Figura 1).

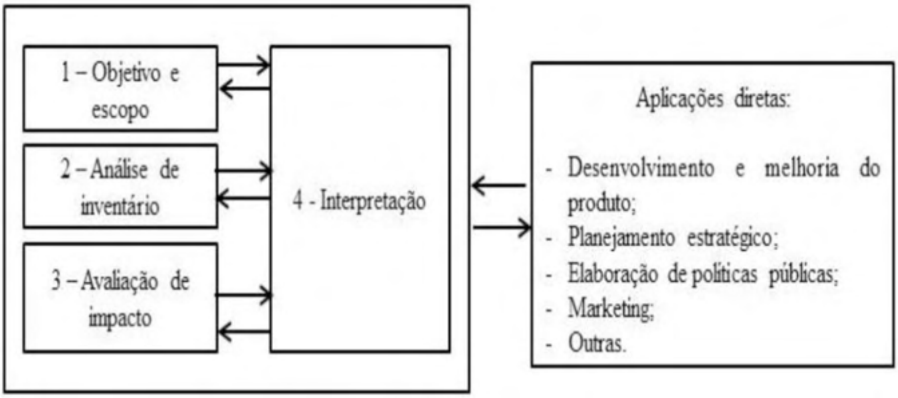


Figura 1 – Fases da avaliação do ciclo de vida.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR ISO 14040 (2009).

As etapas contêm:

- Objetivo e escopo – definição das unidades funcionais, fronteiras do sistema (estudo), indicadores a serem usados e objetivos desejados;
- Inventário do Ciclo de Vida (ICV) – pesquisa detalha do processo, suas entradas e saídas;
- Avalição de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) – aplicação do método de avaliação de impacto;
- Interpretação – interpretação e análise dos resultados (CONDEIXA; HADDAD; BOER, 2014).

Essas etapas têm aplicações diretas no desenvolvimento e melhoria do produto; planejamento estratégico; elaboração de políticas públicas; marketing e outras, e atua como um instrumento abrangente, por ligar projeto, fabricação, construção, manutenção e destino.

3 | ESTUDO DE CASO

3.1 DATEC

O Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade na Construção Habitacional (PBQP-H) foi instituído pela Portaria nº 134, de 18 de dezembro de 1998, com objetivo "de apoiar o esforço brasileiro de modernidade e promover a qualidade e produtividade do setor da construção habitacional, com vista a aumentar a competitividade de bens e serviços por ele produzidos" (BRASIL, 1998).

A Portaria nº 345, de 3 de agosto de 2007 institui o Sistema Nacional de Avaliação Técnica de produtos inovadores (SINAT) no âmbito do PBQP-H que, pauta sobre a concessão de Documentos de Avalição Técnica (DATec), intermediada pelo ITA no regime

do SINAT (BRASIL, 2007; LACERDA, 2014). Nesses documentos são especificadas informações técnicas da construção.

Geralmente, os sistemas construtivos que não são tradicionais e não têm norma regulada no Brasil e almejam financiamento devem ser avaliadas pelo SINAT (LACERDA, 2014).

Na presente data (março de 2021), na página da internet do PBQP-H, existem 15 diretrizes do SiNAT e 43 DATecs. Porém, dos destes 43 somente 23 (vinte e três) estão ativados para análise. Para análise dos DATecs ativos, foram especificados os principais materiais utilizados que são: concreto, bloco cerâmico, armadura de aço, argamassa, graute, aço zincado, placas de cimento, madeira telhas e placas de gesso.

3.1.1 Sistema construtivo: estudo de caso DATec nº 021-C para ACV

Este modelo construtivo apresenta uma alternativa técnica e economicamente viável para auxiliar na solução de um grande entrave da construção civil brasileira que é a baixa produtividade apresentada pelo sistema construtivo tradicional, através da utilização de painéis de alvenaria (tijolo e cimento) (CBIC, 2008).

O DATec nº 021-C foi desenvolvido pela construtora e incorporadora Morefácil, localizada na cidade de Fortaleza, no Estado do Ceará, na Região Nordeste do Brasil. Os painéis são montados no canteiro da obra em lugar específico sobre uma pista de concreto no local da obra (Figura 2 – A). São moldados em fôrmas metálicas na horizontal (Figura 2 – B), que permitem a montagem e desmontagem através do uso de travas especiais desenvolvidas para o sistema. O içamento desses painéis são por caminhões tipo munck para o local definido, colocado sobre uma argamassa colante (Figuras 2 – C, D e E). Eles têm função estrutural, são concebidos por uma camada de concreto, armadura de aço, blocos cerâmicos e argamassa (Figura 2 – F) e não podem ser ampliadas verticalmente.

Este sistema construtivo é patenteado e encontra-se na base do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) com o código PI0701328-0.

A área da habitação é de aproximadamente 40m², com uma sala, dois quartos, uma cozinha, um banheiro. Pode ser unifamiliar, geminada, dependendo do projeto da construtora (MOREFÁCIL, 2017).

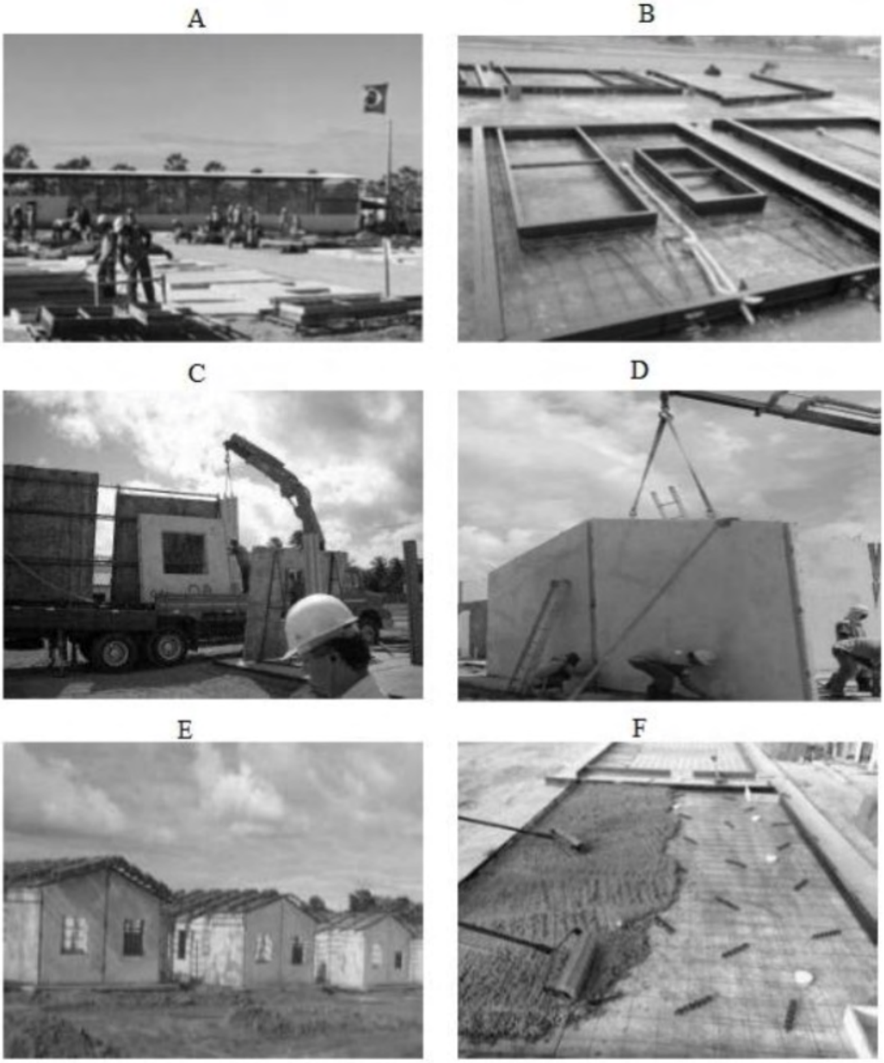


Figura 2 – Detalhes do painel DATec nº 021-C: (A) Pista de produção dos painéis; (B) Detalhes das fôrmas metálicas dos painéis; (C) Içamento dos painéis com caminhão munck; (D) Posicionamento dos painéis sobre argamassa; (E) Detalhes dos preenchimentos do painel; (F) Detalhes dos preenchimentos do painel.

Fonte: DATec 021-C (2021).

4 I METODOLOGIA

Esta pesquisa tem cunho exploratório ao trabalhar com ACV de painéis pré-moldados para habitações sociais.

4.1 Avaliação do ciclo de vida

Os pontos seguintes ressaltam as 4 fases da aplicação da ACV ao painel pré-moldado DATec nº 021-C em estudo.

4.1.1 Objetivo e escopo

Para este estudo foi utilizado à metodologia ACV com dados modelados no SimaPro versão 8.0.3.14, visando avaliar os impactos ciclo de vida dos materiais de um painel pré-moldado em alvenaria com blocos cerâmicos e concreto armado com base no DATec nº 021-C, válido fevereiro de 2023, para um estudo não comparativo.

Foi utilizado o método ReCiPe por ter categorias de "ponto médio" (Quadro 1) e "ponto final", ou seja, que considera todos os efeitos possíveis para este estudo. Por fim, foi utilizada a biblioteca do EcoInvent3 como também, o *European Life Cycle Database* - ELCD.

Depleção do ozônio	Formação de oxidantes Fotoquímicos	Mudanças climáticas	A ocupação da terra urbana	Eutrofização do mar	Esgotamento dos combustíveis fósseis
Toxicidade humana	Formação de partículas	Ecotoxicidade terrestre	Transformação da terra natural	Eutrofização da água doce	Esgotamento dos minerais
Radiação	Acidificação terrestre	A ocupação da terra agrícola	Ecotoxicidade marinha	Ecotoxicidade da água doce	Esgotamento da água doce

Quadro 1 – 18 categorias de impacto de ponto médio do método ReCiPe.

Fonte: SimaPro database manual (2008).

4.1.1.1 Unidade funcional

A função desse painel pré-moldado é a vedação vertical, e a sua unidade funcional é correspondente à quantidade de materiais para produção de um painel com área de 4,87m².

4.1.1.2 Fronteira do sistema

A fronteira do sistema considerada é *cradle to gate* (do berço ao portão), isto é, envolve a extração de matérias-primas, fabricação e processos internos (transporte etc.). Tais limitações são comuns entre os pesquisadores (FIGUEIREDO; GOMES; CARVALHO, 2016). Neste caso, as referências de extração e fabricação do produto encontram-se nas bibliotecas selecionadas: EcoInvent e ELCD. Na Figura 3, especifica as fronteiras estabelecidos para simplificar a pesquisa, mas também para obviar o fato de o DATec não conter informação sobre todas as etapas.

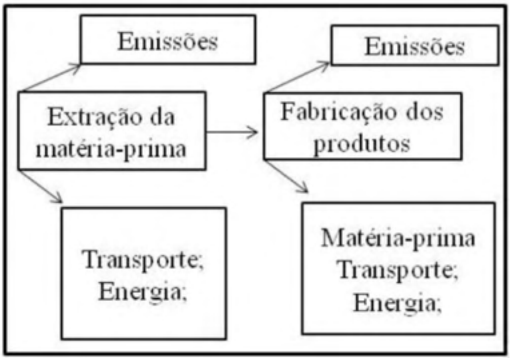


Figura 3 – Fronteira principal deste estudo.

Fonte: Autora (2021).

4.1.2 Inventário dos materiais do painel pré-moldado

A base de dados EcoInvent é uma das mais aceitas por especialistas em ACV, sendo reconhecida mundialmente (BRAGANÇA; MATEUS, 2011). A biblioteca ELCD foi selecionada para o material aço. A Tabela 1 apresenta as quantidades de materiais para a fabricação de um painel pré-moldado.

Elementos dos painéis	Massa (kg)
Tijolos Cerâmicos	337
Concreto C25	354,75
Tela Eletrossoldada e Treliça	18,14
Argamassa cimentícia	260

Tabela 1 – Materiais referentes à unidade funcional - 4,87m².

Fonte: Autora (2021).

A Tabela 2 apresenta a referência e descrição dos materiais selecionados no *software* SimaPro versão 8.0.3.14, baseadas nas fronteiras do sistema. O *software* modela essas informações gerando gráficos e tabelas sobre a influência desses produtos nos impactos ambientais.

Processos/Materiais	Identificação no SimaPro	Biblioteca/Projeto
Tijolos Cerâmicos	Brick {RoW}l production l Alloc Def, S	EcoInvent 3
Concreto normal	Concrete, normal {RoW}l production l Alloc Def, S	EcoInvent 3
Argamassa cimentícia	Cement mortar {RoW}l production l Alloc Def, S	EcoInvent 3
Vergalhão de aço	Steel rebar, blast furnace and electric arc furnace route, production mix, at plant GLO, S	ELCD

Tabela 2 – Referencias no EcoInvent e ELCD correspondentes aos materiais do painel pré-moldado.

Fonte: Autora (2021).

Na biblioteca do EcoInvent3 não havia informações relativas à armadura de aço, assim, optou-se por um processo com características similares, para tanto, foi escolhido o vergalhão de aço da biblioteca ELCD.

Os materiais foram fundamentados em elementos com médias globais (GLO) e ao redor do mundo (RoW), com padrão de alocação (Alloc Def) que é a divisão do processo, neste caso por proporção em massa, conglomerando entradas e saídas (Sistema - S), quer dizer, os insumos e emissões.

4.1.3 Avaliação das categorias de impacto ambiental

As categorias selecionadas para interpretação de impacto ambiental são: mudanças climáticas; toxicidade humana; formação de material particulado; depleção do ozônio; formação de oxidantes fotoquímicos; acidificação terrestre e eutrofização da água doce. Algumas destas categorias são as geralmente avaliadas e apresentadas na Declaração Ambiental de Produtos (DAP), e na norma ISO 21929-1 de 2011 aborda a sustentabilidade na construção (BRAGANÇA; MATEUS, 2011; MATEUS, 2009).

5 I RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Apresentação e interpretação dos resultados

Após a caracterização dos materiais e respectivas quantidades baseadas na unidade funcional e fronteiras do sistema, o programa SimaPro versão 8.0.3.14 gerou as seguintes informações de contribuição de cada material para as categorias de impactos selecionadas neste estudo (Figura 4).

A metodologia ReCiPe associa as categorias mudanças climáticas, toxicidade humana, depleção do ozônio, formação de material particulado e formação de oxidantes

fotoquímicos à saúde humana. E as categorias eutrofização da água doce e acidificação terrestre estão ligadas a ecossistemas.

Os resultados envolvem a produção dos materiais e seu transporte no contexto do berço à fábrica com alicerce no inventário do EcoInvent e ELCD.

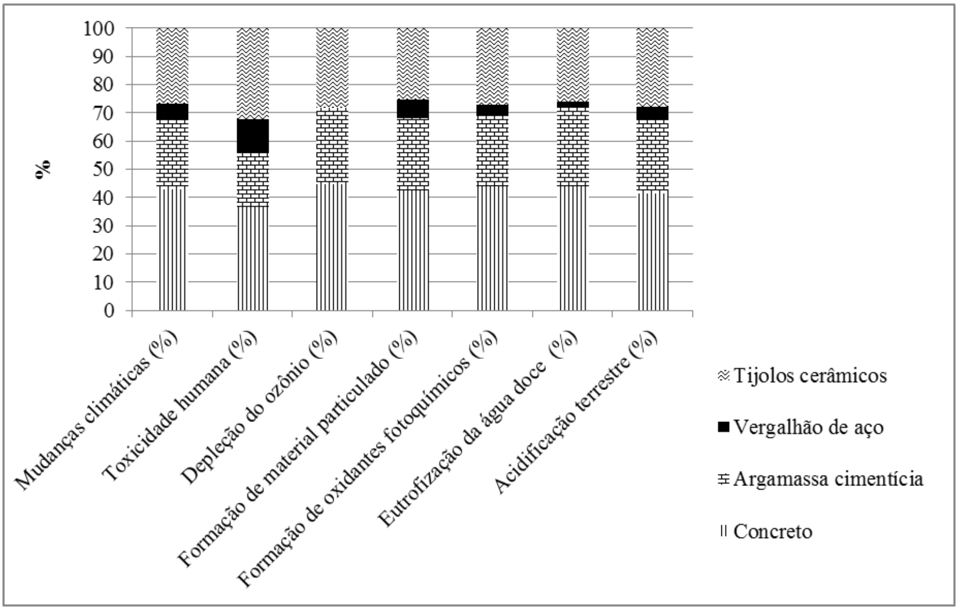


Figura 4 – Contribuição dos materiais para as categorias de impactos ambientais selecionadas no ReCiPe.

Fonte: Autora (2021).

Verifica-se que o concreto contribuiu em maior porcentagem nas categorias de impacto selecionadas com 44,6% em depleção do ozônio, e menor em toxicidade humana com 36,5%. O segundo elemento a contribuir nas categorias foi o tijolo cerâmico com 32,3% na toxicidade humana, e menor com 25,4% em formação de material particulado. O terceiro material a contribuir foi à argamassa cimentícia com 28,2 em eutrofização da água doce e menor em 19,2% na toxicidade humana. O vergalhão de aço foi o material que menos contribuiu nas categorias, porém, seu valor maior foi na toxicidade humana com 12%, e menor valor de impacto na categoria eutrofização na água doce com 1,76%.

Deste modo, em termos de quantidade de massa do material, o concreto foi o primeiro, o tijolo cerâmico o segundo, a argamassa o terceiro e por último o aço. Embora o concreto e tijolo cerâmico versem em termo de massa os que mais contribuem com a composição do painel, a sua contribuição dos impactos ambientais não é igualmente proporcional.

O concreto foi o que mais reforçou nas categorias de impacto por causa do cimento.

Sabe-se que seu processo desde a extração gera altas concentrações de CO_2. Kajaste e Hurme (2016) salientam em porcentagens globais para este processo que as emissões de CO_2 giram em torno de 5 a 8%.

As categorias de impacto selecionadas corroboram com outras pesquisas:

A etapa da extração da matéria-prima, ou seja, a obtenção dos materiais e transporte dos mesmos contribui significativamente para o aquecimento global, estão intimamente ligadas às emissões de gases de efeito estufa na atmosfera, também exposto no trabalho de Bragança e Mateus (2011).

A categoria de toxicidade humana relaciona-se com a concentração de substâncias tóxicas no ar, água ou solo, causando problemas na saúde humana (United Nations Environment Programme - UNEP, 1996).

A categoria de depleção do ozônio relaciona-se com a produção de energia e transporte, também discutidos por Almeida *et al.* (2011) e Barbosa *et al.* (2012).

A categoria de formação de material particulado é caracterizada pela fração da ingestão de PM10, relacionada com emissões do processo de fabricação (PRÉ-CONSULTANTS, 2014).

A categoria de formação de oxidantes fotoquímicos está associada ao bloco cerâmico, com a queima do gás natural que emite oxido de nitrogênio (NOx), e à produção de energia elétrica usado pelos equipamentos no processo de produção dos materiais, também ligados a liberação de óxidos de enxofre (SOx), monóxido de carbono e compostos voláteis (VOCs), essas informações igualmente em acordo com Almeida *et al*. (2011) e Barbosa *et al*. (2012).

A eutrofização, segundo Almeida *et al.* (2011) está relacionada com o NOx emitido no processo.

A acidificação está ligada à emissão de NOx e SOx no processo de fabricação do cimento e tijolo cerâmico, como também da combustão dos combustíveis do transporte.

Finalmente, para as categorias de ponto final, a Saúde Humana é a mais afetada devido às emissões de partículas nos processos de fabricação dos materiais como basalto. Tais resultados também são apresentados nas pesquisas de Vieira, Calmon, Coelho (2016), Bueno (2014), Bragança e Mateus (2012).

Após os dados gerados (Figura 4), o procedimento permite determinar uma pontuação única para os painéis pré-moldados (Figura 5). A pontuação única é uma média dos 18 indicadores de ponto médio do método ReCiPe, incluindo os selecionados neste trabalho, que agregam as três categorias de danos finais: saúde humana, ecossistemas que relaciona as extinções de espécies e recursos que se refere a sua disponibilidade para gerações futuras.

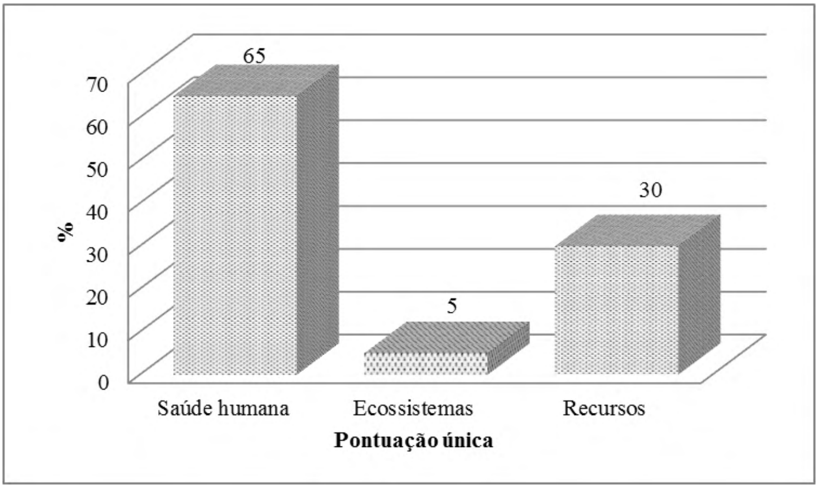


Figura 5 – Pontuação única da avaliação de impacto de ponto final.

Fonte: Autora (2021).

Os materiais inseridos tiveram maior impacto em primeiro lugar na saúde humana com 65%, em segundo nos recursos com 30%, este foi em decorrência com a média das 18 categorias ReCiPe (Quadro 1), e por último nos ecossistemas 5%.

Cabe frisar que o método ReCiPe encontra-se calibrado para a realidade europeia. Todavia, as categorias foram escolhidas à escala mundial. Além do mais, foram selecionados inventários dos materiais com médias ao redor do mundo.

6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Alcançamos com esse trabalho, identificar os materiais dos DATecs e avaliar os impactos ambientais dos materiais de um painel pré-moldado usado para habitações sociais no Brasil.

Em relação à contribuição dos materiais do DATec nº 021-C para os impactos, verificou-se que o concreto foi o que mais teve influência nas categorias escolhidas: mudanças climáticas; toxicidade humana; formação de material particulado; depleção do ozônio; formação de oxidantes fotoquímicos; acidificação terrestre e eutrofização da água, em seguida o bloco cerâmico, posterior à argamassa cimentícia e por último a armadura de aço.

A razão pelo qual o concreto contribuiu mais com as categorias selecionadas de impacto global foi por causa do cimento em sua composição, isso vale para a argamassa cimentícia.

Os resultados da AICV indicaram que os materiais desde a extração a produção têm alto potencial de impacto ambiental na saúde humana como, danos respiratórios, irritação nos pulmões. Para recursos é sua disponibilidade para gerações futuras, e

ecossistemas em relação à extinção de espécies em determinados locais. Não obstante, a análise da categoria pontuação única, o peso maior foi na saúde humana, depós recursos e ecossistema.

Através do conhecimento dos impactos desses materiais e utilização deles na maioria dos DATecs, é possível tomar decisões na fase da escolha de outros materiais com baixo fator de impacto negativo no ambiente e saúde humana.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. **Relatório prospectivo setorial**: 2009. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 14040**: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2009a.

______. **NBR ISO 14044**: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações. Rio de Janeiro: ABNT, 2009b.

ALMEIDA, M. *et al.* Environmental product declaration: implementation in ceramic construction materials. In: BRAGANÇA, Luís *et al*. **Sustentabilidade na reabilitação urbana**: o novo paradigma do mercado da construção. Proceedings da primeira Conferência Nacional iiSBE Portugal: Lisboa, 2011, 313p.

BARBOSA, P. P. *et al.* Análise dos impactos ambientais da produção de blocos cerâmicos. In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA. 3, 2012, Maringá. **Anais...** Maringá, 2012. p. 1-10.

BARBOSA, N. P. Transferência e aperfeiçoamento da tecnologia construtiva com tijolos prensados de terra crua em comunidades carentes. In: FORMOSO, C. T.; INO A. **Inovação, Gestão da Qualidade e Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional**. Porto Alegre: ANTAC, 2003, v. 2, p. 12-39.

BUENO, C. **Avaliação do ciclo de vida na construção civil**: Análise de sensibilidade. 2014. 266p. Tese (Doutorado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

BRASIL. REPÚBLICA FEDERATIVA DO. **Lei nº 12.424**. Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida - PMCMV e dá outras providências, 2011.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Portaria nº 134, 18 de dezembro de 1998**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 18 dez. 1998. Disponível em: http://pbqp-h.cidades.gov.br/download_doc.php. Acesso em: 01 fev. 2017.

______. Ministério das Cidades. **Portaria nº 345, de 3 de agosto de 2007**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 3 ago. 2007. Disponível em: http://pbqp-h.cidades.gov.br/download_doc.php. Acesso em: 01 fev. 2017.

BRAGANÇA, L.; MATEUS, R. **Avaliação do ciclo de vida dos edifícios**: impacte ambiental de soluções construtivas. 1. ed., set. 2011.

BRAGANÇA, L.; MATEUS, R. Análise do Ciclo de Vida de Construções Metálicas. In: CONGRESSO LUSO-AFRICANO DE CONSTRUÇÕES METÁLICA E SUSTENTÁVEL, 1., 2012, Luanda. Anais... Luanda: Cmm, 2012, p. 1-10.

BRUMATTI, D. O. **Uso de pré-moldados** – estudo e viabilidade. 2008. 54 p. Monografia (Especialista na Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

CÂMARA BRASILEIRA DA INSÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO - CBIC. **Casas Olé - Fabricação e montagem de habitações, através de painéis pré-moldados de alvenaria com tijolo cerâmico e argamassa vibrada**. 15º Concurso Falcão Bauer de Inovação Tecnológica Para Habitação e Construção Sustentável. (Relatório). Fortaleza, 2008.

______. **Sondagem indústria da construção**. (2016). Disponível em: http://www.cbicdados.com.br/media/anexos/Sond-Set16.pdf. Acesso em: 13 maio 2017.

CAMPOS, F. H. A. **Análise do ciclo de vida na construção civil**: um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto. 2011. 123 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2012.

CEARÁ. **Plano Diretor de habitação do Estado do Ceará**. (2005). Disponível em: http://conteudo.ceara.gov.br/content/aplicacao/sdlr/desenv_urbano/gerados/livro_pdh.pdf. Acesso em: 16 jun. 2017.

CONDEIXA, K. M. S. P. **Comparação entre materiais da construção civil através da avaliação do ciclo de vida**: sistema drywall e alvenaria de vedação. 2013. 210 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2013.

CONDEIXA, K.; HADDAD, A.; BOER, D. Life Cycle Impact Assessment of mansory system as inner walls: A case study in Brazil. **Construction and Building Materials**, v. 70, p. 141-147, 2014.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos**: ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark, ed., CNI, 1997. 120p.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - FIRJAN. **Construção Civil: Desafios 2020**. 2014. Disponível em: http://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=4028808B4E3FB673014E3FF18D3D20D8. Acesso em: 22 jan. 2017.

FIGUEIREDO, C. F.; GOMES, K. C.; CARVALHO, M. Materiais de Construção Sustentáveis: Avaliação do Ciclo de Vida de Concretos a Base de Cimento Portland e de Materiais Alcalinidades Ativados. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, 2., 2016, Paraíba. **Anais...** Paraíba, 2016. p. 1-11.

GUINÉE, J. B.; HEIJUNGS R.; HUPPES, G. Life Cycle Assessment: Past, Present and Future. Iowa: **Environnmental Science & Technology**, v. 45, n. 1, p. 90-96, 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **ISO 14040 – Environmental Management:** Life Cycle Assessment: Principles and Framework. Geneva: ISO, 2006.

______. **ISO 14044 – Environmental Management:** Life Cycle Assessment: Requirements and Guidelines. Geneva: ISO, 2006.

______. **ISO 21929 – 1:2011:** Sustainability in building construction – sustainability indicators – Part 1: Framework for the development of indicators and a core set of indicators for buildings. Geneva: ISO, 2011.

IVE, G. J.; GRUNENBERG, S. L. **The Economics of the Modern Construction Sector**. 1th ed. London: Macmillan Press LTD, 2000.

KAJASTE, R.; HURME M. Cement industry greenhouse gas emissions e management options and abatement cost. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, part 5, p. 4041–4052, 2016.

KHAN, R. A. Role of Construction Sector in Economic Growth: Empirical Evidence from Pakistan Economy. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONSTRUCTION IN DEVELOPMENT COUNTRIES, 1., 2008, Karachi. **Anais…** Karachi: Advancing and Integrating Construction Education, Research & Practice, 2008. p. 279-290.

LACERDA, J. F. S. B. **Avaliação da sustentabilidade na construção civil dos sistemas construtivos convencionais e industrializado no Brasil**. 2014, 135f. Dissertação (Mestrado Profissional em Produção) – Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, 2014.

LASSIO, J. G. G. **Aplicação do programa Simapro na avaliação do ciclo de vida dos materiais da construção civil**: estudo de caso para um conjunto habitacional. 2013, 96 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

LI, X.; ZHU, Y.; ZHANG, Z. An LCA-based environmental impact assessment model for construction processes. **Building and Environment**, v. 45, n. 3, p. 766-775, 2010.

MATEUS, R. F. M. S. **Avaliação da Sustentabilidade da Construção**: Propostas para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis. 2009. 427p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Minho, 2009.

MOREFÁCIL. **Detalhes das Casas Olé**: Chorozinho I. (2011). Disponível em: <http://www.morefacil.com.br/chorozinho.htm>. Acesso em: 09 fev. 2017.

PASSUELLO, A. C. B. *et al.* Aplicação da avaliação do ciclo de vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de clínqueres alternativos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 7-20, 2014.

PROGRAMA BRASILEIRO DA QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO HABITAT - PBQP-H. **Projetos**. Disponível em: http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php. Acesso em: 30 abr. 2017.

PESQUISA NACIONAL AMOSTRA DE DOMICÍLIOS - PNAD. **Síntese de indicadores**. Rio de Janeiro**:** IBGE, 2015.

PORTAL BRASIL. **Infraestrutura.** (2016). Disponível em: http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/03/em-sete-anos-minha-casa-minha-vida-entrega-mais-de-1-000-casas-por-dia. Acesso em: 22 fev. 2017.

PRÉ-CONSULTANTS. **SimaPro Database Manual**: Methods Library. Amersfoort, The Netherlands: Product Ecology Consultants, 2008.

______. **SimaPro 8**. LCA software version PhD 8.0.3.14. Amersfoort, The Netherlands: Product Ecology Consultants.

RANGELOVA, F. **Fundamentals of Economics in Sustainable Construction**. 1th ed. Bulgaria: Bultest Standard LTD, 2015.

SOARES, L.; MATOS, M. Diferentes abordagens para desenvolver um LCA. In: BRAGANÇA, L. *et al.* **Sustentabilidade na reabilitação urbana**: o novo paradigma do mercado da construção. Proceedings da primeira Conferência Nacional iiSBE Portugal: Lisboa, 2011, p. 313.

SOUZA, B. A. *et al.* Análise dos indicadores PIB nacional e PIB da indústria da construção civil. **Revista de Desenvolvimento Econômico**, Salvador, v. 17, n. 31, p. 140-150, 2015.

STASIAK-BETLEJEWSKA, R.; POTKÁNY, M. Construction Costs Analysis and Its Importance To The Economy. **Procedia Economics and Finance**, Elsevier, v. 34, p. 35-42, 2015.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP. **Life cycle Assessment**: what it is and how to do it. Paris, UNEP, 1996.

VIEIRA, D. R.; CALMON, J. L.; COELHO, F. Z. Life cycle assessment (LCA) applied to the manufacturing of common and ecological concrete: A review. **Construction and Building Materials**, Internacional, v. 124, p. 656-666, oct. 2016.

CAPÍTULO 8

ESTUDO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS PARA A DETERMINAÇÃO DE ^{226}RA E ^{228}RA EM AMOSTRAS SÓLIDAS AMBIENTAIS

Data de aceite: 01/03/2022

Aluísio de Souza Reis Júnior
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) - Campus da UFMG Pampulha

Geraldo Frederico Kastner
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) - Campus da UFMG Pampulha

Renata Dias Abreu Chaves
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) - Campus da UFMG Pampulha

Roberto Pellacani Guedes Monteiro
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) - Campus da UFMG Pampulha

RESUMO: Os radionuclídeos ^{226}Ra e ^{228}Ra fazem parte das séries de decaimento do ^{238}U e ^{232}Th, respectivamente, e oferecem riscos radiológicos se liberados no meio ambiente por atividades antrópicas. O CDTN há muitos anos realiza um Programa de Monitoração Ambiental destacando-se dentre outras a determinação destes radionuclídeos em amostras sólidas, solos, sedimentos e plantas, utilizando o método de contagem proporcional o qual envolve etapas de digestão ácida, separação radioquímica e contagem após crescimento de 30 dias para equilíbrio radioativo do radônio resultando em um tempo total de análise de cerca de 60 dias. Com o objetivo de reduzir o tempo de análise, em aproximadamente a metade, para pequenas quantidades de amostra a ser analisada, em porta amostra de aproximadamente 15 mL, foi desenvolvida uma metodologia utilizando a técnica de espectrometria gama baseada na medida direta dos emissores gama ^{214}Bi e ^{228}Ac, respectivamente produtos do decaimento do ^{226}Ra e ^{228}Ra. Com a redução significativa da contagem de fundo (*background*) por meio da utilização de um sistema de ventilação adequado para a eliminação da presença de radônio no ambiente do laboratório, foi possível reduzir a quantidade de amostra para análise, melhorar a eficiência de contagem com consequente aumento de sensibilidade da técnica sendo possível atingir níveis de atividade entre 0 e 3 Bq g^{-1}. Para fins de validação da metodologia foram realizados ensaios comparativos entre as duas metodologias analíticas, com base nas técnicas de contagem proporcional, utilizando o analisador Multi-detector Manual System – MDS / MPC-9604 subsystem da Protean Instrument Corporation – PIC e espectrometria gama, utilizando um detector HPGe coaxial modelo 5019, com 50% de eficiência nominal da CANBERRA. Um padrão certificado do New Brunswick Laboratory (NBL), RM 42-4 (0,520 ± 0,006 %U) foi utilizado para fins de calibração. Os resultados obtidos por ambas as metodologias para amostras de sedimentos apresentaram boa concordância nos valores das atividades considerando os baixos níveis de atividades estudados e limites de detecção de 0,001 Bq.g^{-1} para ^{226}Ra e 0,1 Bq. g^{-1} para ^{228}Ra.

PALAVRAS-CHAVE: ^{226}Ra, ^{228}Ra, Espectrometria gama.

ABSTRACT: Radionuclides ^{226}Ra and ^{228}Ra are part of the ^{238}U and ^{232}Th decay series, respectively, and pose radiological risks if released into the environment by human activities. CDTN has been carrying out an Environmental Monitoring Program for many years, highlighting, among others, the determination of these radionuclides in solid samples, soils, sediments and plants, using the proportional counting method which involves stages of acid digestion, radiochemical separation and counting after growth 30 days for radioactive radon equilibrium resulting in a total analysis time of about 60 days. In order to reduce the analysis time by approximately half for small amounts of sample to be analyzed, in a sample port of approximately 15 mL, a methodology was developed using the gamma spectrometry technique based on the direct measurement of ^{214}Bi gamma emitters and ^{228}Ac, respectively decay products of ^{226}Ra and ^{228}Ra. With the significant reduction in the background count through the use of an adequate ventilation system to eliminate the presence of radon in the laboratory environment, it was possible to reduce the amount of sample for analysis, improve the counting efficiency with consequent increased sensitivity of the technique being possible to reach activity levels between 0 and 3 Bq g^{-1}. For the purposes of methodology validation, comparative tests were performed between the two analytical methodologies, based on proportional counting techniques, using the Multi-detector analyzer Manual System – MDS / MPC-9604 subsystem by Protean Instrument Corporation – PIC and gamma spectrometry, using a model 5019 coaxial HPGe detector with 50% nominal efficiency from CANBERRA. A New Brunswick Laboratory (NBL) certified standard, RM 42-4 (0.520 ± 0.006 %U) was used for calibration purposes. The results obtained by both methodologies for sediment samples showed good agreement in the activity values considering the low levels of activities studied and detection limits of 0.001 Bq.g^{-1} for ^{226}Ra and 0.1 Bq. g^{-1} for ^{228}Ra.
KEYWORDS: ^{226}Ra, ^{228}Ra, Gamma spectrometry.

1 I INTRODUÇÃO

Rádio é um elemento radioativo do qual nenhum isótopo estável é conhecido. O número de massa dos isótopos conhecidos variam de 206 a 230 e suas meia vidas ($T_{1/2}$) variam de 182 ns para ^{216}Ra a 1600 anos para ^{226}Ra. Os dois isótopos de rádio ^{226}Ra e ^{228}Ra ocorrem naturalmente e são membros das duas cadeias de decaimento: ^{226}Ra ($T_{1/2}$ = 1600 anos) pertence à série do urânio cujo precursor é o isótopo ^{238}U e ^{228}Ra ($T_{1/2}$ = 5,75 anos) é membro da série do tório cujo precursor é o isótopo ^{232}Th. ^{226}Ra emite partículas alfa (E_{α} = 4,784 MeV e E_{α} = 4,601 MeV) e raios gama (E_{γ} = 186,21 keV), podendo ser diretamente determinado usando sua partícula α ou suas emissões Υ ou indiretamente por seus produtos de decaimento de vida curta (^{222}Rn ($T_{1/2}$ = 3,82 d); ^{214}Pb ($T_{1/2}$ = 26,8 m); ^{214}Bi ($T_{1/2}$ = 19,9 m)). ^{228}Ra é um emissor de partícula beta de baixa energia e por esta razão técnicas que usam partículas beta (E_{Bmax} = 2,1 MeV) ou raios gama (E_{γ} = 338,32 keV; E_{γ} = 911,20 keV; E_{γ} = 968,97 keV) de seu produto de decaimento ^{228}Ac são usadas na determinação de sua atividade [1].

A determinação de radionuclídeos específicos tem ampla aplicação em programas de monitoração ambiental e para avaliação do padrão de qualidade e potabilidade da água. A

determinação de alguns radionuclídeos pertencentes às séries radioativas naturais do ^{235}U, ^{238}U e ^{232}Th faz parte do escopo destes programas, pois são considerados críticos, ou seja, provavelmente contribuem para uma maior dose seja por ingestão, inalação ou radiação externa [2]. Os isótopos de rádio são importantes do ponto de vista de proteção radiológica e proteção ao meio ambiente. Sua alta toxicidade tem estimulado o contínuo interesse em pesquisa de metodologias para determinação destes isótopos em diversos tipos de amostra [3]. Sendo assim, órgãos reguladores internacionais têm mostrado crescente interesse na regulamentação do nível de atividade de rádio na maioria dos produtos industriais e de consumo. A EPA (US *Environmental Protection Agency)* que regulamenta os níveis de atividade para a água de consumo humano, limita a concentração máxima para a soma de ^{226}Ra e ^{228}Ra em 185 mBq L^{-1}. Na Alemanha, a regulação para água mineral e água para consumo humano restringe, respectivamente, a concentração a valores máximos de 125 mBq L^{-1} e 20 mBq L^{-1} para ^{226}Ra e ^{228}Ra [4].

No CDTN, há um programa de monitoração ambiental responsável pela coleta de diversos tipos de matrizes como água, efluente, sedimento, filtro retentor de aerossóis, solo e plantas de forma a monitorar a liberação de rejeitos radioativos no meio ambiente, atendendo às exigências de órgãos fiscalizadores [2].

As concentrações de rádio em amostras ambientais são, tipicamente, muito baixas e, portanto, pré-concentração e preparação química para tais amostras são necessárias. A despeito disto, algumas vezes análises de concentração de atividade do rádio são feitas muito próximas ao limite de detecção. É evidente que há um grande número de técnicas disponíveis para a determinação de isótopos de rádio em amostras ambientais. Vários métodos descritos são primariamente dedicados à determinação em matriz líquida, como a água potável, entretanto é possível, usando a preparação de amostras e procedimentos de separação, adaptar todos os métodos para aplicações em outros tipos de amostras líquidas, sólidas, como sedimentos e biota, e ainda amostras de ar coletadas por filtros. A co-precipitação de bário é usada como um método de análise de rádio devido às propriedades químicas muito similares do bário e do rádio. A exploração da habilidade do bário para reagir com um excesso de íons sulfato para produzir um precipitado permite a análise quantitativa de concentrações de atividades em nível ambiental do rádio em água [5]. O método utilizado no CDTN para determinação das atividades de ^{226}Ra e ^{228}Ra se baseia na contagem da atividade alfa total e beta total de um precipitado de sulfato de bário e rádio ($Ba(Ra)SO_4$) utilizando um contador proporcional com fluxo gasoso.

Este trabalho apresenta um estudo de desenvolvimento de metodologia para determinação de ^{226}Ra e ^{228}Ra por espectrometria gama, objetivando a redução do tempo de análise e simplificação do processo de preparo da amostra para amostras de sedimento. Além disso, foram realizados ensaios comparativos com a metodologia atual de análise (contador proporcional) para validação da mesma.

2 I METODOLOGIA

Um aspecto interessante da espectrometria gama é a habilidade para usar amostras que frequentemente requerem pouca, ou nenhuma, preparação radioquímica. Para materiais sólidos, incluindo solos e sedimentos, a amostra pode frequentemente ser diretamente colocada no porta-amostra após unicamente uma preparação básica (por exemplo: secagem ou peneiramento). Com a grande quantidade de amostras tipicamente usadas a homogeneidade das amostras é também facilmente obtida.

Para o ^{226}Ra e ^{228}Ra, construiu-se, respectivamente, curvas padrões com as seguintes atividades do urânio ou tório, em Bequerel (Bq): 0,00 < atividade ≤ 5,00. A faixa de trabalho para a atividade para a quantidade de amostra (25 gramas) é de 0,00/25 Bq g^{-1} a 5,00/25 Bq g^{-1}. A incerteza nos resultados é calculada como sendo o desvio padrão utilizando a equação da melhor curva obtida por estatística no ajuste dos pontos experimentais.

Escolheu-se o porta-amostra, Fig. 1, tipo placa de petri de dimensões 49x12 mm fabricadas em poliestireno cristalino, adequado às medições a serem feitas. Isto significa que o porta-amostra deve ser inerte à radiação gama, ter um volume adequado para a quantidade de amostra a ser medida e poder ser hermeticamente fechado impossibilitando a fuga do gás radônio produzido na reação de decaimento do urânio ou do tório. Para garantir o equilíbrio secular do gás radônio com seus filhos a amostra foi mantida neste porta-amostra por 30 dias antes de sua utilização na espectrometria gama. Todas as amostras foram preparadas no mesmo porta-amostra obtendo-se assim uma geometria de contagem similar.



Fig 1: Porta-amostras usados na determinação da concentração de atividade de ^{226}Ra e ^{228}Ra em amostras de sedimento.

O detector HPGe coaxial modelo 5019 tem uma eficiência nominal de 50% e é operado com um software Canberra Genie 2000 para aquisição e análise de radiação gama.

A atividade do ^{226}Ra foi determinada assumindo equilíbrio secular com seus filhos, ^{214}Pb e ^{214}Bi. Sendo que os principais picos do chumbo foram mascarados pelos picos do ^{123}Ba e eventos Compton, só os picos do ^{214}Bi em 609,32, 768,37e 1120,29 keV foram usados para determinação da atividade do ^{226}Ra. A atividade do ^{228}Ra foi determinada

assumindo equilíbrio secular com seu filho ^{228}Ac. As amostras foram colocadas diretamente sobre o detector e foram medidas por 18000 segundos.

Para fins de validação da metodologia utilizando a técnica de espectrometria gama foram realizados ensaios comparativos entre as duas metodologias a espectrometria gama e a técnica de contagem proporcional. Foram analisadas oito amostras de sedimento do Programa de Monitoração Ambiental do CDTN relativas a duas coletas (Outubro de 2015 e Janeiro de 2016) e quatro diferentes pontos de amostragem [6].

Pelo método de contagem proporcional, a determinação de ^{226}Ra e ^{228}Ra nas amostras de sedimento foi realizada por digestão ácida, separação química e contagem, após crescimento de 30 dias para equilíbrio radioativo do radônio, em contador proporcional de fluxo de gás (Multi-detector Manual System – MDS / MPC-9604 subsystem da Protean Instrument Corporation – PIC). As atividades alfa total e beta total são determinadas e relacionadas com o conteúdo de Ra-226 e Ra-228, respectivamente, no precipitado de $Ba(Ra)SO_4$ [7].

3 I RESULTADOS

A análise de ^{226}Ra e ^{228}Ra em sedimentos, via a otimização da técnica de espectrometria gama, mostrou-se adequada sendo relativamente rápida, barata e precisa. As amostras foram analisadas por HpGe e os resultados foram obtidos da análise de diferentes registros de diferentes espectros de amostras. Espectros da radiação de fundo *(background*) foram determinados utilizando um sistema de ventilação adequado para a eliminação da presença de radônio no ambiente do laboratório [7] e as intensidades dos principais picos subtraídos dos picos das amostras de sedimentos. Um número expressivo de espectros foi analisado considerando a formação do equilíbrio secular entre ^{226}Ra e seus filhos ^{214}Pb e ^{214}Bi para obtenção da sua concentração de atividade e equilíbrio secular entre ^{228}Ra e seu filho ^{218}Ac para a determinação de sua concentração de atividade.

Os resultados de ^{226}Ra e ^{228}Ra no sedimento dos ensaios comparativos, obtidos pela espectrometria gama e pela técnica de contagem proporcional, visando a validação da metodologia desenvolvida, estão apresentados nas Tab. 1 e 2:

Amostra	Ra-226 – PIC Bq g^{-1}	Ra-226 – E. G. Bq g^{-1}	Ra-228 – PIC Bq g^{-1}	Ra-228 – E. G. Bq g^{-1}
10/007/042	0,05 ± 0,03	0,08 ± 0,10	0,20 ± 0,08	0,16 ± 0,07
10/007/043	0,06 ± 0,05	0,09 ± 0,10	0,20 ± 0,10	0,18 ± 0,07
10/007/045	0,05 ± 0,04	0,05 ± 0,10	0,11 ± 0,07	0,10 ± 0,07
10/007/051	0,09 ± 0,06	0,06 ± 0,10	0,09 ± 0,10	0,10 ± 0,07

Onde PIC = contagem proporcional.

E. G.= espectrometria gama.

Tab. 1: Resultados de Sedimento – Coleta de Outubro/2015.

Amostra	Ra-226 – PIC Bq g^{-1}	Ra-226 – E. G. Bq g^{-1}	Ra-228 – PIC Bq g^{-1}	Ra-228 – E. G. Bq g^{-1}
10/007/042	0,03 ± 0,02	0,06 ± 0,10	0,18 ± 0,06	0,17 ± 0,07
10/007/043	0,05 ± 0,04	0,09 ± 0,10	0,19 ± 0,08	0,17 ± 0,07
10/007/045	0,05 ± 0,04	0,06 ± 0,10	0,12 ± 0,07	0,10 ± 0,07
10/007/051	0,07 ± 0,05	0,05 ± 0,10	0,10 ± 0,09	0,11 ± 0,07

Onde PIC = contagem proporcional.

E. G.= espectrometria gama.

Tab. 2: Resultados de Sedimento – Coleta de janeiro/2016.

Os resultados indicam que a concentração em atividade do ^{226}Ra e ^{228}Ra variaram, respectivamente, de 0,05 a 0,85 Bq g^{-1} e 0,09 a 0,19 Bq g^{-1} para as amostras de sedimento analisadas. A detecção destas atividades muito baixas foi possível porque foram utilizadas as facilidades disponíveis no laboratório para diminuir a contagem de fundo no caso da espectrometria gama através da ventilação do ambiente de contagem.

Para ^{226}Ra os resultados para espectrometria gama foram, praticamente, sempre maiores que aqueles para contagem proporcional. De acordo com Mauring et al.[8], o impacto de variações temporais na velocidade de contagem de certos picos provocados por variações no nível de radônio no laboratório é mais sério nas atividades calculadas nos picos para ^{214}Bi, os quais são usados para estimar a atividade de ^{226}Ra.

Já para ^{228}Ra os resultados para espectrometria gama foram, praticamente, sempre menores que aqueles para contagem proporcional. É interessante notar, que os resultados para a atividade do ^{228}Ra apresentam um erro menor quando consideradas as duas coletas na comparação dos dois métodos.

4 I CONCLUSÃO

Foram realizados ensaios comparativos entre duas metodologias analíticas, com base nas técnicas de contagem proporcional e na espectrometria gama. Os resultados obtidos por ambas as metodologias para amostras de sedimentos apresentaram boa concordância nos valores de atividades considerando os baixos níveis de atividades estudados e limites de detecção de 0,001 Bq g^{-1} para ^{226}Ra e de 0,1 Bq g^{-1} para ^{228}Ra.

Os métodos foram comparados com respeito à exatidão, limites de detecção e tempo gasto para as determinações. Os métodos para ambos os radionuclídeos, ^{226}Ra e ^{228}Ra, concordam dentro da incerteza experimental, apresentam limites de detecção semelhantes e na espectrometria gama diminui-se o tempo e o custo da análise em relação à contagem proporcional.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CDTN pelo suporte técnico ao trabalho desenvolvido.

REFERÊNCIAS

[1] M. Kobler, W. Preube, W. Gleisberg, B. Schafer, I. T. Heinrich and B. Knobus, "Comparison of methods for the analysis of ^{226}Ra in Water Samples", Applied Radiation and Isotopes 61, pp. 387-392, (2002).

[2] C. M. Peixoto e V. M. F. Jacomino, "Programa de monitoração ambiental do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – Revisão 2008**"**. CNEN/CDTN, Belo Horizonte, Publicação CDTN-963, (2008).

[3] H. M. Diab and W. M. Abdellah, "Validation of ^{226}Ra e ^{228}Ra Measurements in Water Samples Using Gama Spectrometry analysis," Journal of Water Resource and Protection, Vol. 5, pp. 53-57, (2013).

[4] IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications No. IAEA/AQ/19, "Analytical Methodology for the Determination of Radium Isotopes in Environmental Samples", International Atomic Energy Agency, Vienna (2010).

[5] W. C. Burnet and W. C. Tai, "Determination of Radium in Natural Waters by a Liquid Scintillation", Analytical Chemistry, Vol. 64(15), pp. 1691-1697, (1992).

[6] Peixoto, C. M. e Jacomino, V. M. F. "Programa de Monitoração Ambiental do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear", Publicação CDTN, 918, 2003.

[7] J. M. Godoy et al., "Development of a sequential method for the determination of ^{238}U, ^{234}U, ^{232}Th, ^{230}Th, ^{228}Th, ^{228}Ra, ^{226}Ra and ^{210}Pb in environmental samples," *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 182(1), pp. 165–169 (1994).

[8] A. Mauring, T. Gafvert, T. B. Aleksandersen., "Implications for analysis of ^{226}Ra in a low-level gamma spectrometry laboratory due to variations in radon background levels," Apllied Radiation and Isotopes, Vol. 94, pp 54-59, (2014).

CAPÍTULO 9

ANÁLISE POR ATIVAÇÃO NEUTRÔNICA, MÉTODO K_0 NA DETERMINAÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS EM GRÃOS DE MILHO

Data de aceite: 01/03/2022
Data de submissão: 03/01/2022

Wellington Ferrari da Silva
Faculdade Cidade de Coromandel - FCC
Coromandel – MG
http://lattes.cnpq.br/4158472376850000

Renata Priscila de Oliveira Paula
Faculdade Cidade de Coromandel - FCC
Coromandel – MG
http://lattes.cnpq.br/0400195972239117

Dayse Menezes Dayrell
Faculdade Cidade de Coromandel - FCC
Coromandel – MG
http://lattes.cnpq.br/2921557615071133

RESUMO: O objetivo deste estudo foi determinar os nutrientes em grãos de milho verificando a eficiência da técnica de análise por ativação neutrônica, método k_0, ao ser aplicada nessa matriz. As amostras de grãos de milho, variedade 5055 da Agroceres, foram coletadas em uma propriedade situada na região da cidade de Biquinhas, MG, e irradiadas no reator nuclear TRIGA MARK I IPR-R1, do CDTN/CNEN. Assim, constatou-se a presença de Au, Br, Co, Fe, K, Mo, Na, Rb e Zn. A análise por ativação com nêutrons se mostrou adequada na determinação dos elementos analisados, demostrando assim, a potencialidade da análise multielementar.

PALAVRAS-CHAVE: Análise por Ativação Neutrônica, Nutrientes, Milho.

ANALYSIS BY NEUTRONIC ACTIVATION, K_0 METHOD IN THE DETERMINATION OF CHEMICAL ELEMENTS IN CORN GRAINS

ABSTRACT: The aim of this study was to determine the nutrients in corn grains, verifying the efficiency of the neutron activation analysis technique, k_0 method, when applied to this matrix. Samples of corn grains, variety 5055 from Agroceres, were collected from a property located in the region of the city of Biquinhas, MG, and irradiated in the nuclear reactor TRIGA MARK I IPR-R1, of the CDTN/CNEN. Thus, the presence of Au, Br, Co, Fe, K, Mo, Na, Rb and Zn was verified. The analysis by activation with neutrons proved to be adequate in determining the analyzed elements, demonstrating like this, the potential of multi-elementary analysis.

KEYWORDS: Analysis by Neutronic Activation, Nutrients, Maize.

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays L.*) é uma planta cultivada em regiões quentes e temperadas de todo o mundo, sendo o cereal de maior produção no Brasil. Representa uma das principais culturas da agricultura brasileira, não somente no aspecto quantitativo, como também no que diz respeito à sua importância estratégica por base da alimentação animal e humana (LÓPEZ-OVEREJO et al., 2003).

Esta cultura, entretanto pode ser afetada por muitos problemas, principalmente a absorção e translocação de nutrientes. A

necessidade de alcançar elevados patamares de produtividade tem resultado em uma crescente preocupação com o uso de nutrientes na adubação. Tais problemas podem influenciar no produto final e nos elementos presentes nos grãos de milho.

Várias técnicas analíticas podem ser aplicadas na determinação da composição qualitativa e quantitativa de vegetais como, por exemplo, colorimetria, espectrometria de absorção e emissão atômica, cromatografia e fluorescência de raios-X. Outra técnica é a análise por ativação neutrônica que apresenta vantagens como não exigir a dissolução da amostra - condição imprescindível para outras técnicas - ser multielementar, determinar elementos químicos na faixa de concentração de traços a percentagem. No caso de vegetais, matriz orgânica, a matriz não se ativa durante a irradiação por ser composta de C, O, H, N. Após cerca de dois meses, a amostra é considerada resíduo e não rejeito radioativo, de acordo com CNEN-NN-3.01 “Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica”, Posição Regulatória-3.01/001:2011.

O princípio da análise por ativação, AAN, consiste em submeter uma amostra a um fluxo de nêutrons, com o intuito de produzir isótopos radioativos dos núcleos presentes na amostra original, reação está conhecida como ativação (IAEA, 1990).

A reação nuclear que ocorre é do tipo captura radioativa (n, γ), e produz o radionuclídeo de interesse para a realização de uma análise, por meio do método de ativação com nêutrons, que ocorre quando um feixe de partículas ativadoras (nêutrons) interage com o núcleo alvo, originando um núcleo composto de alta energia de excitação. Rapidamente este núcleo instável passa para uma configuração mais estável, emitindo raio gama “prontos” e transformando-se em um núcleo radioativo. Esse núcleo radioativo emitirá raios gama e partículas beta, com uma meia-vida característica, formando por fim um núcleo estável. Por meio da energia da radiação gama de decaimento e da meia-vida, o radioisótopo formado na reação nuclear pode ser identificado, permitindo assim, realizar análises qualitativas e quantitativas do elemento contido na amostra (DE SOETE et al., 1972). A probabilidade de ocorrência dessa reação nuclear depende das características do nuclídeo alvo como a secção de choque a determinada energia de nêutrons, abundância isotópica, além da meia vida do radionuclídeo formado.

Na análise por ativação, a energia especifica medida destes raios γ é usada para determinar os elementos presentes na amostra, enquanto a quantificação é feita pela medida da quantidade de emissões gama que são detectados em um intervalo de tempo (contagens por segundo). Aproximadamente 70% dos elementos têm nuclídeos possuindo propriedades adequadas para a análise por ativação neutrônica, mostrando que este método radioquímico é um dos mais importantes para este tipo de análise (BODE et al, 1990).

Vários trabalhos têm sido publicados, inclusive na área agronômica, e alguns podem ser citados como os autores Othman e colaboradores (1995) que usaram a AAN para determinar 17 elementos traço em diferentes variedades de tabaco cultivados em diferentes

tipos de solos e de condições climáticas. Os autores verificaram que ligeiras diferenças nas condições de cultivo possibilitaram variações nas concentrações dos elementos presentes nas folhas.

Oliveira e colaboradores (2013) utilizaram a AAN empregando o método k_0 padronizado em amostras de solos do cerrado (argiloso e arenoso) e em amostras de fosfogesso. A mesma técnica foi utilizada também por Oliveira et al. (2011) em estudos com fosfogesso para identificar os elementos de terras raras Ce, La, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb.

Com relação ao material vegetal, Mannan e colaboradores (1990) usaram a análise por ativação com nêutrons para determinar a concentração de 10 elementos traço em 5 variedades de arroz e casca de arroz no Paquistão, os elementos analisados foram: Hg, Cd, Pb, Cs, As, Ni, Se, Br e Al. Com exceção do Se, as concentrações dos elementos foram menores no arroz do que na casca.

Jimba e Ige (1990) usaram a técnica para determinar elementos traço (Co, Cr, Fe e Zn) em alguns grãos como: arroz, soja, milho e amendoim. Os resultados sugeriram que uma dieta desses grãos proporciona uma concentração adequada desses elementos essenciais.

Franicisconi (2014) também utilizou a técnica de análise de ativação neutrônica para determinar os constituintes inorgânicos e avaliar a concentração dos elementos As, Ba, Br, Ca, Co, Cr, Cs, Fe, Hf, K, Mg, Mn, Na, Rb, Sb, Sc, Se, Ta, Th, Ti, U, V, Zn e Zr em plantas medicinais e seus extratos. A relevância dessas análises é justificada pela necessidade de contribuir para a recomendação destas plantas como fontes desses minerais na dieta. Guizado Vidal et al. (2015) também utilizaram a técnica para otimizar a deconvolução espectral para determinar Zn em folhas de várias espécies vegetais.

Várias pesquisas também foram realizadas em sistemas de cultivo de diversos produtos vegetais como café (FERNANDES et al., 2004), batata (BACCHI et al., 2004), feijão (SANTOS et al., 2006), suco de laranja (TURRA et al., 2006), cogumelos (MARZANO et al., 2001), plantas frutíferas (CID, 2011), folhas de couve (MENEZES et al., 2006a) tomate, soja (OLIVEIRA et al., 2012) e em milho (SILVA, 2019) mostrando assim, a importância desta técnica analítica no estudo da identificação e concentração dos elementos em diversas espécies vegetais.

Desta forma, este trabalho objetivou determinar os elementos presentes em grãos de milho, por análise de ativação neutrônica. Foi aplicado o método k_0 aliado à metodologia de análise de amostras grandes, recém-estabelecida no CDTN (MENEZES; JACIMOVIC, 2006b).

MATERIAL E MÉTODOS

Para este trabalho, as amostras de grãos de milho, variedade 5055 da Agroceres, foram coletadas de forma aleatória em uma propriedade, situado no município de Biquinhas,

MG, a 18º46'58'' de latitude sul e 45º30'08'' de longitude oeste, a uma altitude média de 629 metros.



Figura 1. Propriedade Rural – Município de Biquinhas – MG.

Fonte: Próprio autor.

As espigas foram levadas para o laboratório, debulhadas e lavadas em água corrente e em água deionizada e colocadas em seguida para secar à temperatura ambiente. Após a secagem, as amostras de milho foram pesadas em triplicata em frascos de polietileno adequadas para a irradiação, com massas em torno de 2,5g.



Figura 2. Sementes de milho, preparação da amostra.

Fonte: Próprio autor.

Acompanhando as amostras em estudo, foram utilizados monitores de fluxos de nêutrons, liga certificada de Al-Au (0,1%), IRMM-530RA, fornecida pelo Instituto de Materiais de Referência e Medidas (IRMM, Institute for Reference Materials and Measurements), Bélgica.

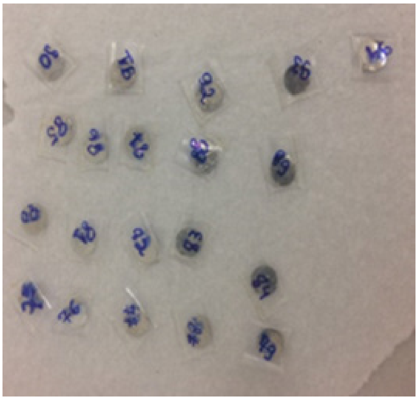
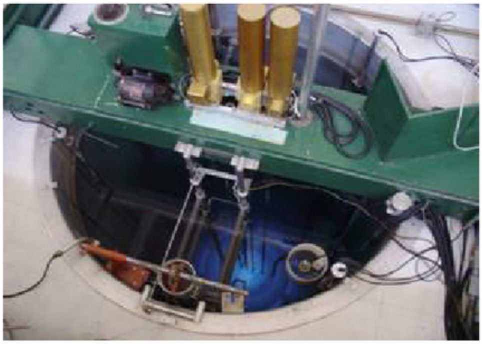


Figura 3. Monitores de ouro sendo pesados para irradiação.

Fonte: Silva, 2019.

As irradiações foram realizadas no reator TRIGA MARK-I IPR-R1, localizado no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN. As amostras foram irradiadas na mesa giratória na posição de irradiação PI-7, estando o reator operando a 100 kW. Nesta posição, os parâmetros espectrais f e α são 22,32 e - 0,0022 respectivamente, e o fluxo de nêutrons térmicos é $6{,}35 \times 10^{11}$ n cm^{-2} s^{-1} (Menezes; Jacimovic, 2014).



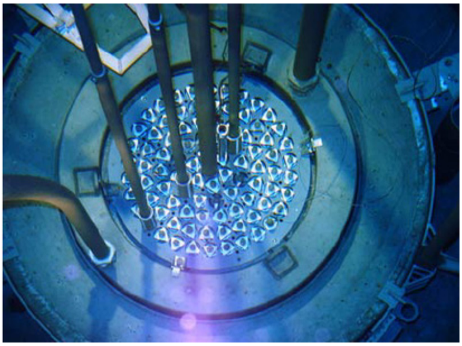


Figura 3. Reator Nuclear TRIGA MARK I IPR – R1 do CDTN/CNEN.

Fonte: Mesquita e Rezende, (2007).

Após a irradiação foi esperado um tempo suficiente para o decaimento dos radionuclídeos de meias vidas mais curtas e interferentes e, em seguida, foi executada

a espectrometria gama em um detector coaxial HPGe, com 50% de eficiência nominal, modelo GC 5019 CANBERRA, associado a eletrônica apropriada e a um programa de aquisição de espectros Genie 2K, CANBERRA. As contagens foram realizadas nas energias gama características dos radiosótopos produzidos. Para a determinação da área do pico de energia gama característica, foi usado o programa HyperLab (HYPERLAB, 2009), específico para análise de espectros gama. Para o cálculo da concentração elementar, foi usado o programa Kayzero for Windows® [11].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por ser uma técnica multielementar, diversos elementos foram determinados, entretanto, vários apresentaram resultados abaixo do limite de detecção. A Tab. 1 apresenta os elementos que tiveram resultados de concentração acima do limite de detecção, os radioisótopos formados na ativação e as suas respectivas energias dos raios gama e meias vidas [11].

Elementos	Radioisótopo	Energia (keV)	Meia Vida
Au	^{198}Au	411,8	2,69 dias
Br	^{82}Br	554	1,47 dias
Co	^{60}Co	1173,2 e 1332,5	5,27 anos
Fe	^{59}Fe	1099,3 e 1291,6	44,5 dias
K	^{42}K	1524,7	12,4 horas
Mo	^{99}Mo	140,5	2,75 dias
Na	^{24}Na	1368	14,9 horas
Rb	^{86}Rb	1077	18,7 dias
Zn	^{65}Zn	1115,5	244 dias

Tabela. 1. Elementos determinados por ativação neutrônica.

A Tabela 2 mostra as médias das concentrações obtidas nas amostras analisadas em triplicata, assim como os elementos que tiveram resultados abaixo do limite de detecção.

Pode-se observar que os valores de potássio encontram-se entre os maiores com 2,9 $mg.g^{-1}$. Ritchei e colaboradores também avaliaram esse mesmo elemento na cultura do milho e constataram que a maior concentração de potássio presente na estrutura vegetativa da planta, aproximadamente 35%, concentra-se nos grãos.

Observa-se que diversos elementos apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção. Esses resultados se mostraram satisfatórios, pois estes elementos poderiam promover algum dano à saúde humana e à germinação da planta.

Elementos	Média ± DP (mg.Kg^{-1})	Elementos	Média ± DP (mg.Kg^{-1})
Ag	< 0,02	Na	5,5 ± 0,5
As	< 0,008	Nd	< 0,4
Au	(2,8 ± 1)*	Rb	4,4 ± 0,4
Ba	< 1,4	Sb	< 0,002
Br	0,33 ± 0,06	Sc	< 0,003
Ca	< 220	Se	< 0,08
Cd	< 0,1	Sm	< 0,001
Co	(4,9 ± 0,6)*	Sr	< 3
Cr	< 0,1	Ta	< 0,003
Cs	< 0,005	Tb	< 0,003
Fe	13 ± 1	Th	< 0,01
Hg	< 0,03	U	< 0,01
K	(2,9 ± 0,4)**	W	< 0,01
La	< 0,001	Yb	< 0,01
Mo	0,26 ± 0,01	Zn	22 ± 4

DP, Desvio Padrão; *, (μg. kg^{-1}); **, %.

Tabela . 2. Concentração dos elementos nas amostras em estudo.

CONCLUSÃO

As concentrações de 9 elementos - Au, Br, Co, Fe, K, Mo, Na, Rb e Zn – em amostras de grãos de milho foram obtidas pela análise por ativação neutrônica. Esta técnica demonstrou que é adequada para determinar diversos elementos químicos em órgãos vegetais.

Verifica-se que os grãos de milho analisados apresentaram concentrações tanto de elementos considerados como macronutrientes, tanto para micronutrientes para as plantas, como aqueles potencialmente tóxicos às plantas e aos animais.

REFERÊNCIAS

BACCHI, M. A.; FERNANDES, E. A. N.; TSAI, S. M.; SANTOS, L. G. C. Conventional and organic potatoes: Assessment of elemental composition using k_0-INAA. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Budapest, v. 259, n. 3, p.421-424, 2004.

BODE, P; HOFFMAN, E. L.; LINDSTROM, R. L.; PARRY, S. J.; ROSENBERG, R. J. **Pratical Aspects of Operating a Neutron Activation Analysis Laboratory**, I.A.E.A. Tecdoc 564, Vienna, 1990.

CID, A.S. **Evolução temporal da incorporação de $^{137}Cs^+$, k^+ e Na^+ em plantas frutíferas tropicais e suas correlações com a fisiologia vegetal**, 2011. 78 f. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, 2011.

DE SOETE, D.; GISBELS, R.; HOSTE, J. **Neutron activation analysis**. London: Wiley – Interscience, v.34, 1972, 834p.

FERNANDES, E. A. N.; TAGLIAFERRO, F. S.; BACCHI, M. A.; BODE, P.; TURRA, C. SANTOS, L. G. INAA as a tool to identify organically grown food. **Transactions of the American Nuclear Society**, La Grange Park, v. 91, p.847-848, 2004.

FRANICISCONI, L. S. **Determinação de constituintes inorgânicos em plantas medicinais e seus extratos**. 2014. 144 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de tecnologia Nuclear) – IPEN, São Paulo, 2014.

GUIZADO-VIDAL, D. A.; SANTOS, L. G. C.; BACCHI, M. A.; FERNANDES, E. A. N.; SANTOS, S. S. N. S. C. **Otimização da deconvolução espectral para determinação de Zn em folhas de plantas utilizando análise por ativação neutrônica**. In: VIII Simpósio dos Pós-graduandos do CENA. Ciência e Sociedade: interações, impactos e desafios, 2015, Piracicaba. Resumos dos Trabalhos Apresentados no VIII Simpósio dos Pós-graduandos do CENA, 2015.

Institute of Isotopes. Hyperlab V. 2009, User's manual. Budapest (2009)

International Atomic Energy Agency. Practical aspects of operating a neutron activation analysis laboratory. Vienna: IAEA, 1990, pp 7-32 (TECDOC – 564).

JIMBA, B.; IGE, T. Concentrationof Cr, Fe, Co and Zn in some Nigerian food grains. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 144, n. 6, p. 447-452, 1990.

Kayzero for Windows®, "User's Manual, for reactor neutron activation analysis (NAA) using the k0 standardisation method", Ver. 2.42. k0-Ware, Heerlen, The Netherlands (2011)

LÓPEZ-OVEREJO R. F et al., **Manejo de plantas daninhas na cultura do milho**. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. (Eds). Milho: Estratégicas de Manejo para Alta produtividade. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Departamento da Produção Vegetal, pp. 47-79 (2003).

MANNAN, A.; WAHEED, S.; QURESHI, I. H. Concentration and distribution of toxic elements in rice and husk. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 140, n. 1, p. 91-102, 1990.

MARZANO, F. N.; BRACCHI, P. G.; PIZZET, P. Radioactive and conventional pollutants accumulated by edible muschrooms (*Boletus sp*) are useful indicators of species origin. **Environmental Research** A 85, p. 260-264, 2001.

MENEZES, M. A. B. C.; PALMIERI, H. E. L.; LEONEL, L. V.; NALINI, J. R. H. A; JACIMOVIC, R. Iron Quadrangle, Brazil: Elemental concentration determined by k_0-instrumental neutron activation analysis. Part II: Kale samples. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 270: p. 111-116, 2006a.

MENEZES, M. A. B. C.; JACIMOVIC, R. Optimised k0-instrumental neutron activation method using the TRIGA MARK I IPR-R1 reactor at CDTN/CNEM, Belo Horizonte, Brazil, Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A, v.564, p. 707-715, 2006b.

MENEZES, M. A. B. C.; JACIMOVIC, R. “Implementation of a methodology to analyse cylindrical 5-g sample by neutron activation technique, k0 method, at CDTN/CNEN, Belo Horizonte, Brazil”, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, v. 300, p. 523-531, 2014.

OLIVEIRA, K. A. P.; SPERLING, E. V.; MENEZES, M. A. B. C.; BRITO, W.; JACOMINO, V. M F. Use of nuclear techniques in the study of the behavior of rare earth elements on the use of phosphogypsum in Cerrado agriculture. **International Journal of Nuclear Governance**, Economy and Ecology (Print), v. 3, p. 274-279, 2011.

OLIVEIRA, K. A. P.; MENEZES, M. A. B. C.; VON SPERLING, E.; JACOMINO, V. M. F. Transfer Factor of Rare Earth Elements from Phosphogypsum Amended Brazilian Tropical Soils to Lettuce, Corn and Soybean. **The Journal of Solid Waste Technology and Management**, v. 38, p. 202-210, 2012.

OLIVEIRA, K. A. P.; MENEZES, M. A. B. C.; JACOMINO, V. M. F.; SPERLING, E. V. Use of nuclear technique in samples for agricultural purposes. **Engenharia Agrícola** (Impresso), v. 33, p. 46-54, 2013.

OTHMAN, I.; AKANCLE, O. A.; RAMSBOTTOM, S. J.; SPYROU, N. M. The determination of trace elements in Syrian tobacco by INAA. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 195, n. 1, p. 195-202, 1995.

RITCHEI, S. W. et al., Como a planta de milho se desenvolve. Potafós: Arquivo do Agrônomo, n. 15, 20p. (2003). (Informações Agronômicas, n. 103).

SANTOS, L. G.; FERNANDES, E. A. N.; BACCHI, M. A.; TAGLIAFERRO, F. S; TSAI, S. M. Evaluation of conventional and organic beans by instrumental neutron activation analysis. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Budapest, v. 270, n. 1, p.249-252, 2006.

SILVA, W. F. **Estudo do metabolismo de zinco em plantas de milho transgênico submetidas ao herbicida glifosato utilizando técnicas analíticas nucleares**, Tese (Doutorado em Ciências E Técnicas Nucleareas) – Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, 2019.

TURRA, C.; FERNANDES, E. A. N.; BACCHI, M. A.; TAGLIAFERRO, F. S.; FRANÇA, E. J. Differences between elemental composition of orange juices and leaves from organic and conventional production systems. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Budapest, v. 270, n. 1, p.203-208, 2006.

CAPÍTULO 10

DATA SCIENCE PARA MULTI-PREVISÃO: APLICADO A PROTEÇÃO DE FURTO DO TRANSPORTE DUTOVIÁRIO DE PETRÓLEO E DERIVADOS

Data de aceite: 01/03/2022

Renivan Costa da Silva
Mestrado em Direção Estratégica em Tecnologia da Informação pela Universidad Europea del Atlántico – Professor de Inteligência Digital aplicada na Investigação Criminal

RESUMO: O objetivo deste artigo é apresentar uma pesquisa com a finalidade de implementar uma solução no modelo Data Mining, com a função de aplicar análise preditiva no sistema de Transporte Dutoviário de petróleo, gás e derivados. Através dos seguintes métodos: • Reconhecer como a ação preditiva pode transformar a atividade de pronta resposta; • Identificar o aumento e a efetividade de ações de coleta e análise de dados; • Comprovar a possibilidade de maior velocidade, robustez documental e completude de informações para subsidiar ações de órgão governamentais (Executivo, Legislativo, Judiciário etc.); • Estabelecer uma estrutura para padronizar e verificar relacionamentos entre pessoas e empresas, com a finalidade de apoiar a inteligência para aumentar a efetividade das ações de segurança, diminuindo perdas e os custos com a segurança ostensiva. **Principais Achados:** • Otimizar custo da segurança ostensiva com apoio da inteligência; • Diminuir a perda financeira com os eventos de segurança, utilizando análise dos dados (automatização); • Capacitação para atuar de forma analítica e preventiva; • Integração entre os processos; • Tomada de decisão mais inteligente; • Processamento destes dados de forma contínua para monitoramento evolutivo dos alvos de interesse e pontual para suportar pesquisas e apurações executadas. Neste Artigo, será proposto o desenvolvimento de uma solução integrada para o problema de furtos associados ao **Transporte Dutoviário** de petróleo, gás e derivados. Esse é o desafio diário das empresas que operam dutos, onde necessitam de um ambiente que possibilite compartilhamento e tratamento de dados de multiusuários que combina rica análise e capacidades de visualização com ferramentas de análise e difusão das informações.

PALAVRAS-CHAVE: Data Mining; Artificial intelligence; Mathematical algorithm; Predictive analysis; Digital transformation.

ABSTRACT: The objective of this article is to present a research with the purpose of implementing a solution in the Data Mining model, with the function of applying predictive analysis in the Oil, Gas and Derivatives Pipeline Transport system. Through the following methods: • Recognize how predictive action can transform prompt response activity. • Identify the increase and effectiveness of data collection and analysis actions. • Prove the possibility of greater speed, documentary robustness and completeness of information to support the actions of government agencies (Executive, Legislative, Judiciary, etc.). • Establish a structure to standardize and verify relationships between people and companies, with the purpose of supporting investigative intelligence to increase the effectiveness of security actions, reducing losses and the costs

with ostensible security. • Map the entire pipeline system and identify a favorable point or theft. **Expected results:** • Optimize cost of overt security with intelligence support. • Decrease the financial loss with security events, using data analysis (automation). • Training to act in an analytical and preventive manner. • Integration between processes. • Smarter decision making. • Processing of this data on a continuous basis for the evolutionary monitoring of the targets of interest and punctual to support research and investigations related to theft in pipelines. In this article, the development of an integrated solution to the problem of theft associated with oil, gas and derivatives pipeline transport will be proposed. This is the daily challenge for companies that operate pipelines, where they need an environment that allows sharing and processing of multi-user data that combines rich analysis and visualization capabilities with tools for analysis and dissemination of information.
KEYWORDS: Data Mining; Artificial intelligence; Mathematical algorithm; Predictive analysis; Digital transformation.

INTRODUÇÃO

Com a crescente sofisticação dos crimes associados ao Transporte Dutoviário de petróleo, gás e derivados, no Brasil e no mundo. Neste cenário, se faz necessário desenvolvimento de uma solução, onde é possível identificar furto em sistemas de dutos, com diversas modalidades em delitos. A área de Inteligência de Dados Investigativo passa a ter uma atuação fundamental não somente no suporte às operações organizacionais, mas também na disponibilização de informações que possibilitem ao sistema de segurança pública o bom direcionamento estratégico dos recursos e das informações disponibilizadas.

Com cenário as estratégias de Inteligência de Dados Investigativo e suas respectivas formas de controle devem ser pautadas por informações disponibilizadas de forma rápida e precisa, a área de inteligência de dados deve ter sólido conhecimento de todos os itens que possam impactar em suas atividades investigativas e nos resultados esperados.

Em um modelo ideal de implantação, todas as informações necessárias às atividades da área de inteligência devem ser tratadas de forma corporativa e armazenadas em um repositório único e seguro (Big Data), para ser utilizado no modelo Data Mining/Data Science e em sistemas híbridos. Este processo garante a confiabilidade e integridade dos dados obtidos, otimizando ainda a quantidade de integrações, volume de processamentos e necessidade de infraestrutura tecnológica.

Neste artigo serão utilizados algoritmos matemáticos para diagramação de dados: K-Core, Eigenvector, SimRank, Betweenness centrality – Intermediação, Árvores de Decisão (Decision Trees), Redes Neuronais Artificiais e Floresta Randômica, dentre outros.

O artigo visa orientar a criação de uma plataforma de gerenciamento de dados de inteligência intuitiva, que permite que as equipes colaborativas de analistas capturem, controlem e analisem dados de diversas fontes em ambientes de grupos de trabalho ricos em informações estruturadas e não estruturadas.

Será proposto o desenvolvimento de uma solução integrada para o problema de furtos associados ao Transporte Dutoviário de petróleo, gás e derivados. Esse é o desafio diário das empresas que operam dutos.

Com isso, apresentamos um ambiente que possibilite o tratamento de dados com multiusuários que combina rica análise e capacidades de visualização com ferramentas de análise e difusão das informações.

Historicamente, as formas de transformar dados em conhecimento, dados organizados e processados para induzir compreensão, experiência e aprendizagem acumulada, sempre estiveram associadas ao processo de análise e interpretação manual.

Fayyad (1997, p. 45) afirma o seguinte:

> As diversas ferramentas de análise dispõem de um método baseado na verificação, isto é, o utilizador constrói hipóteses específicas e posteriormente, verifica ou refuta as mesmas. Esse modelo torna-se dependente da intuição e habilidade do analista em propor hipóteses interessantes, em manipular a complexidade do espaço de atributos, e em refinar a análise baseando-se nos resultados de consultas potencialmente complexas de bases de dados.

CARÁTER INOVADOR

Produzir conhecimento tornou-se possível graças aos algoritmos de aprendizagem automática (machine learning). Alguns desses algoritmos constituem o núcleo inteligente do processo de DCBD - (Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados). Essencialmente, o conhecimento inferido por esses algoritmos dá-se sob a forma de padrões ou modelos de dados estruturados/não estruturados.

O artigo tem como caráter inovador contribuir com:

- Desenvolvimento de algoritmos matemáticos para diagramação de dados.
- Análise de diagrama de vínculos.
- Investigação inteligente.
- Georeferência de informação.
- Administração de bancos de dados investigativos.
- Armazenamento de informação em bancos de dados investigativo.
- Analisar bancos de dados não estruturados e estruturados.
- Adquirir informações de bancos de dados.
- Conectar/analisar bancos de dados locais.
- Conectar/analisar bancos de dados externos.
- Converter texto em diagrama.
- Criar e monitorar alvos em documentos.

- Buscar padrão em dados estruturados.
- Analisar estatisticamente informações de banco de dados investigativo.
- Enviar informação para diagramação e domada de decisão.

Com esse projeto, é possível fazer com quer um diagrama armazene os objetos dos dados em seus vértices e represente as relações entre esses objetos por suas arestas. Por exemplo, os vértices e arestas em uma entidade World Wide Web correspondem às páginas da Web e hiperlinks, respectivamente. Outro gráfico típico do sistema para diagramação de dados, e uma rede social, cujos vértices e arestas correspondem a informações pessoais e relações de amizade, respectivamente, assim por diante.

O valor teórico, está na utilização da disciplina Inteligência Artificial, Aprendizado de Máquina e Data Science aplicados na Proteção de Dutos. Nesse trabalho serão utilizados os algoritmos matemáticos para diagramação de dados, K-Core, Eigenvector, SimRank, Betweenness centrality – Intermediação, Árvores de Decisão (Decision Trees), Redes Neuronais Artificiais e Floresta Randômica, dentre outros.

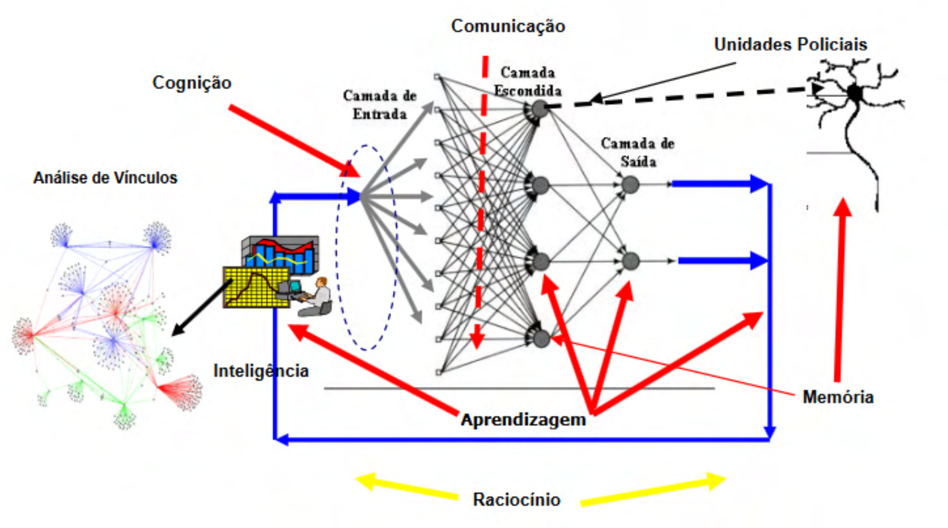


Figura 1 - Cenário de inteligência organizacional no contexto da organização em rede.

Nota: De “Inteligência organizacional, análise de vínculos e a investigação criminal: estudo de caso na Polícia Civil do Distrito Federal”, por C. M. Ferro Jr., 2008, Biblioteca Digital de Dissertações da UCB.

Mendroni (2012, p. 65) apresenta a seguinte afirmação:

> Buscar as vias mais sigilosas de veiculação de informações e documentos pode significar o sucesso da investigação. É evidente que quando os fatos investigados venham a domínio público ou quando menos, ao conhecimento das pessoas suspeitas, estas trabalharão e não pouparão esforços no sentido e impedir ou dificultar a coleta de dados importantes ao contexto probatório.

> Além de nunca serem obrigadas a dizer a verdade, confessando infrações penais praticadas, tão pouco podem ser compelidas a produzir prova contra si mesmas e, mais que isso, podem ainda ocultar, esconder, dificultar e mesmo, eventualmente, destruir evidências, elementos de provas e provas, desde que isto não configure outra prática criminosa.

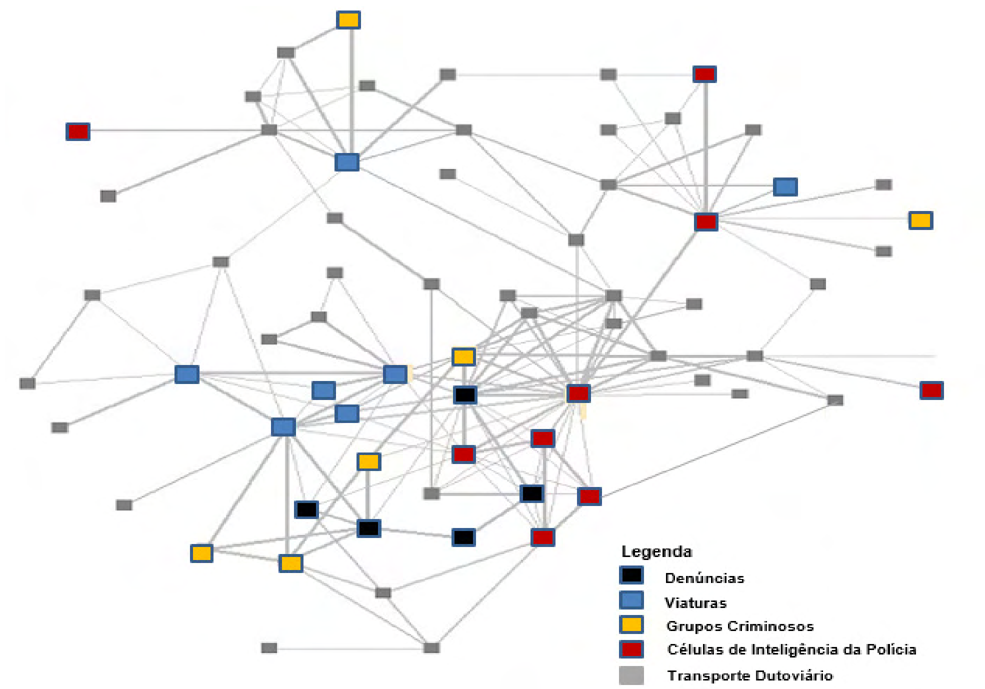


Figura 2 - Modelo de organização policial com os elementos de inteligência organizacional, interagindo no ambiente.

As técnicas apresentadas neste estudo são convenientes para empresas, que operam sistemas de Transporte Dutoviário de petróleo e derivados ou empresas que desejam aplicar Inteligência Digital ao processo de investigação corporativa ou investigação no âmbito do Ministério Público e demais órgãos de Segurança Pública.

Os Sistemas híbridos – Data Mining são soluções baseadas em meios informáticos que podem ser utilizados para suportar processos de tomadas de decisões complexos, bem como a resolução de problemas.

Um padrão/comportamento é uma expressão genérica formal que descreve um subconjunto de dados, ou seja, induz-se um modelo a partir de um conjunto de dados não estruturado/estruturados. Para ser útil, um modelo deve ser simples e compreensível.

DESCOBERTA DE SIMILARIDADES E PADRÕES EM BASES DE DADOS

Os modelos de transformar dados em conhecimento - dados estruturados/não estruturados e processados para induzir tomada de decisão, compreensão, experiência e aprendizagem acumulada - sempre estiveram associadas ao grande processo de análise e interpretação manual. As diversas ferramentas de análise de dados dispõem de um método baseado na verificação, isto é, o analista de dados constrói hipóteses específicas e posteriormente, verifica ou refuta as mesmas. Esse modelo pode torna-se dependente da intuição e habilidade do analista em propor hipóteses interessantes, em manipular a complexidade do espaço de atributos e entidades, e em refinar a análise baseando-se nos resultados de consultas potencialmente complexas de bases de dados (Fayyad, 1997). Esta estratégia, ao longo do tempo, tornou-se proibitiva devido ao problema da “explosão dos dados“ (Furnkranz, 1995). Como o número de possíveis relacionamentos/vínculos entre dados de uma base de dados é muito grande, a sua pesquisa e tratamento manual tornam-se proibitivos. É alarmante a distância crescente entre a geração de dados e a capacidade de analisar e compreender os mesmos, uma vez que, conforme o volume de dados aumenta, a proporção dos dados que é analisada e compreendido pelas pessoas tende a diminuir.

As instituições que utilizam computadores têm armazenado grandes volumes de dados e com uma velocidade de aquisição crescente. Avanços nas tecnologias de armazenamento de dados tais como dispositivos de armazenamento mais rápidos, com maior capacidade e mais baratos, além de Sistemas de Gestão de Base de Dados (SGBD) mais eficientes, da tecnologia de Data Mining e Warehousing (DW) e da World Wide Web (WWW), têm contribuído para fazer com que existam enormes volumes de dados disponíveis para apoiar a tomada de decisão.

Sabemos que estas bases de dados passam a conter verdadeiros tesouros de informação, sobre os vários procedimentos dessas organizações. Toda esta informação pode ser usada para melhorar os seus procedimentos de negócios, permitindo que a organização detecte tendências e características disfarçadas, e reaja rapidamente a um evento que ainda pode estar por vir. No entanto, apesar do enorme valor desses dados, a maioria das organizações é incapaz de aproveitar totalmente o que está armazenado nas suas bases de dados. Esta informação preciosa está na verdade implícita, escondida sob uma montanha de dados, e não pode ser descoberta através da utilização de um simples SGBD convencionais, nem de forma alguma são passíveis de serem lidos, analisados ou interpretados, pelo ser humano, através de métodos manuais tradicionais de análise (folhas de cálculo e questões ad-hoc), que não geram retorno ao negócio da empresa.

FASES DO PROCESSO DE DCBD

O processo de DCBD é classificado como sendo um processo interactivo e iterativo, que envolve várias fases (figura 9), e com decisões a serem tomadas pelo analista. Segundo Fayyad et al. (1996), este processo pode ser dividido em três grandes fases, nomeadamente:

- Pré processamento (selecção, pré-processamento e transformação).
- Data Mining.
- Pós-processamento (interpretação e consolidação).

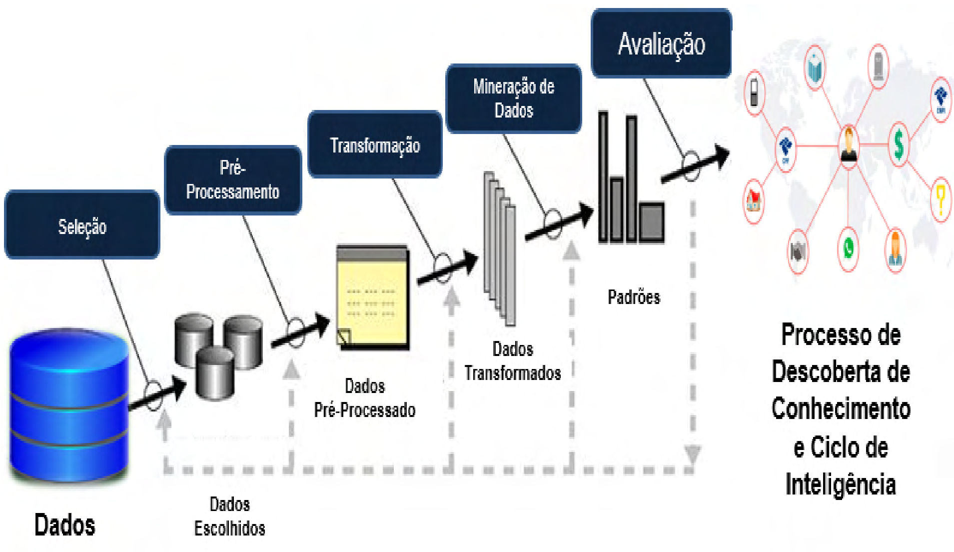


Figura 3 - Apresentam-se as principais fases deste processo.

Nota: Fonte: De "From Data Mining to knowledge discovery in databases", por U. Fayyad, G. P. Shapiro e P. Smyth, 1996, Artificial Inteligence Magazine, 17(3), p. 41.

SELEÇÃO DE DADOS

Conforme apresentado na (figura 9), a primeira etapa diz respeito ao desenvolvimento, compreensão e aprendizagem do domínio de aplicação bem como à selecção de dados.

É fundamental identificar entre as necessidades sentidas, aquelas que podem ser resolvidas por meio da utilização de algum método de Data Mining. Frequentemente, o problema é descrito de forma informal.

Mendroni (2012, p. 63) apresenta a seguinte afirmação:

> Evidentemente não se pretende aqui esgotar o tema, tampouco traçar um método único ou absoluto para investigação de organização criminosa, até porque, como visto, não existe fórmula exata nesse sentido, a partir da

> constatação da grande variedade com que elas podem se apresentar, com características próprias, ás vezes bem regionais, mas certamente tirando o seu proveito das condições socioeconômicas locais, e principalmente das deficiências do Estado, muitas vezes constituindo aquilo que se passou a denominar de “Estado Paralelo.”

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Tomando por base o tema em foco, o qual busca investigar o processo de Data Mining aplicado na atividade de furto no transporte dutoviário, torna-se de fundamental importância definir neste artigo os procedimentos metodológicos que servirão como caminho de como a pesquisa será realizada em sua totalidade, o qual nada mais é que a observação sistemática dos fenômenos da realidade através de sucessivas etapas, sob a orientação de conhecimentos teóricos, com vistas a elucidar a causa desses fenômenos. Elaborar estratégia metodológica, “implica que o pesquisador deva conceber a maneira prática e específica de responder às perguntas de sua pesquisa. Isso acarreta selecionar ou desenvolver um projeto de pesquisa e aplicá-lo ao contexto particular de seu estudo” (Velasco e Villa, 2019, p. 74).

O artigo apresenta os procedimentos metodológicos empregados na pesquisa, de forma a permitir o alcance dos objetivos aqui propostos, com descrição detalhada e o alcance do conjunto de atividades, com a implementação da ferramenta surge o objetivo de criar novos métodos de pesquisa e análise de dados estruturados/não estruturados, aplicados à proteção de dutos independente do segmento empresarial. Com a crescente sofisticação nos esquemas de furtos em tecnologia de dutos, a área de Inteligência de Dados Investigativos passa a ter uma atuação fundamental não somente no suporte às operações organizacionais, mas também na disponibilização de informações que possibilitem o bom direcionamento estratégico de recursos e informações.

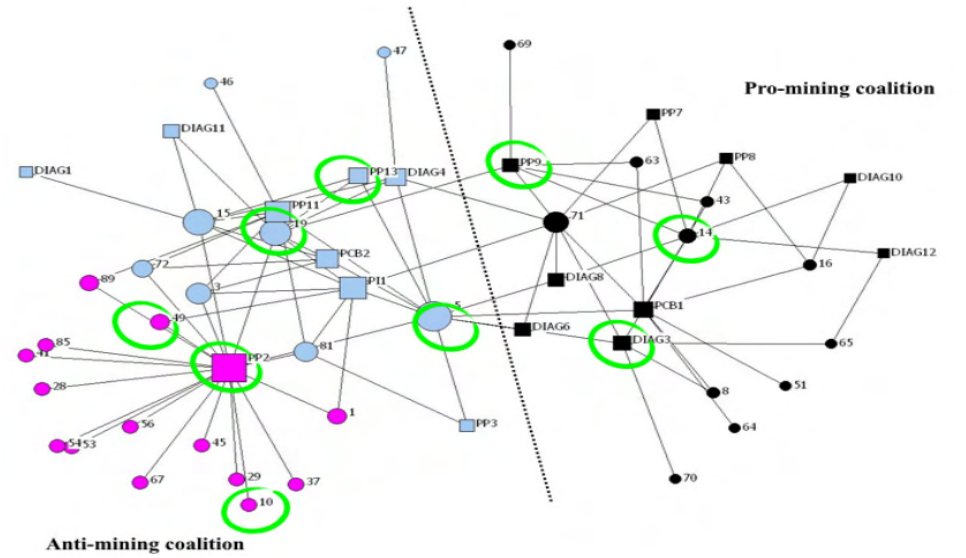


Figura 4 - Rede de discursos em T2. Nós dimensionados por centralidade de autovetor.

Nota: De "Policy networks and policy change in the Ecuadorean mining sector: dealing with the legacy of neoliberalism", por P. Cisneros, 2015 (https://tinyurl.com/yxjhffs6).

ALGORITMO SIMRANK

O SimRank fornece uma medida de similaridade de entidades, facilitando a identificação para a computação de pares únicos e de pesquisa no Data Analytic, em que tanto as entidades básicas mapeadas quanto as relações entre essas entidades são dadas.

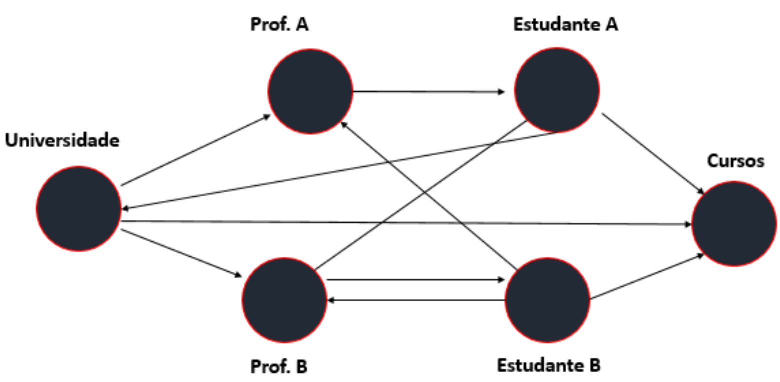


Figura 5 - Exemplo do algoritimo SimRank.

- Prof. A e Prof. B são semelhantes porque ambos são referenciados pela mesma universidade;

- Muito nó é semelhante a si mesmo, portanto, a universidade é completamente semelhante a si mesma;
- Estudante A e Estudante B, são semelhantes porque são referenciados por nós semelhantes {Prof.A, Prof.B}
- Estudante A e Estudante B, são semelhantes porque ambos podem ter aula com a variável {Prof.A, Prof.B};

Árvores de Decisão (Decision Trees)

As Árvores de Decisão, estabelecem regras para tomada de decisão, a partir de uma entrada de dados. O algoritmo criará uma estrutura similar a um fluxograma, com "nós" onde uma condição é verificada, e se atendida o fluxo segue por um ramo, caso contrário, por outro, sempre levando ao próximo nó, até a finalização da árvore. Com os dados de treino, o algoritmo busca as melhores condições, e onde inserir cada uma dentro do fluxo, e sua relevância para a detecção dos vínculos das entidades.

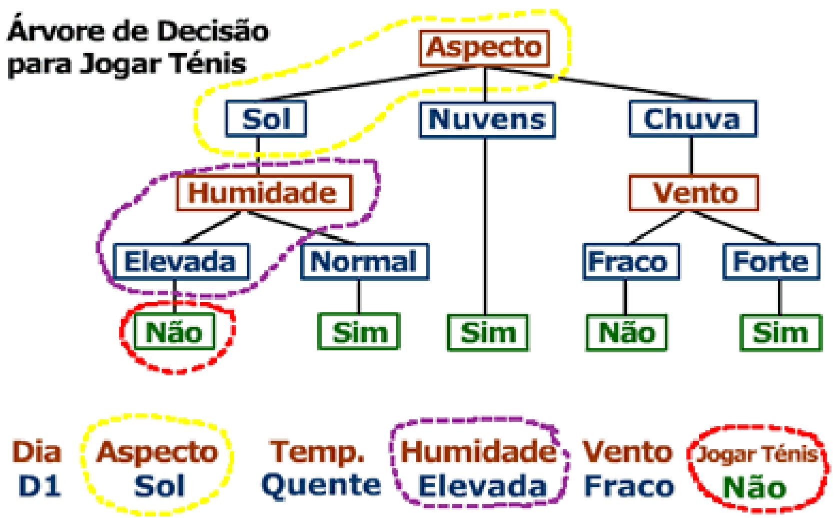


Figura 6 - A classificação de um exemplo com algoritmo de Árvore de Decisão.

Nota: De "Árvores de Decisão", por GFBioinfo, (s.d.) (https://tinyurl.com/y3q7jhuu).

Tecnologia NPW para monitoramento, detecção e localização de vazamento nos sistemas dutoviários

O software de "Serviços de Monitoramento" corresponde ao software licenciado exclusivamente para LeakLab, que, como qualidade principal, permite o monitoramento, detecção e localização de vazamentos, sem que esta definição como um todo limite o escopo real do sistema.

“SLV” - O sistema de localização de vazamentos pelo método “medição da propagação da onda de pressão negativa”, permitindo a detecção em tempo real de qualquer perda de contenção na linha de transporte do produto (perda de integridade mecânica ou derivação clandestina) e permite notificação imediata à empresa do evento ou eventos na linha de transporte. O SLV deverá ser composto pelos seguintes subsistemas:

O Sistema de Monitoramento Autônomo corresponderá à infraestrutura física instalada no campo ao longo do sistema de transporte de hidrocarbonetos (normalmente instalado em caixas de válvula, terminais de armazenamento e bombeamento, etc.).

Tecnologia NPW: capaz de realizar testes de curta duração para monitoramento, detecção e localização de vazamento nos sistemas dutoviários

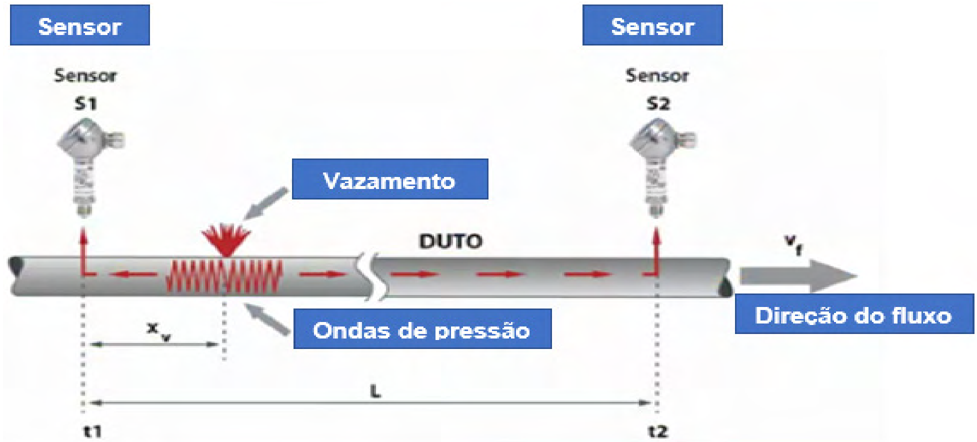


Figura 7 - Sistema de monitoramento, detecção e localização de vazamento em dutos.

Tecnologia Vibroacústica: sistema de longa duração para monitoramento e detecção e localização de vazamento nos sistemas dutoviários

Em muitos problemas do nosso cotidiano ocorre acoplamento entre a resposta acústica no interior de uma cavidade e a excitação estrutural em um de seus contornos flexíveis, bem como a resposta estrutural nestes contornos também está relacionada à fonte acústica da cavidade. Interior de dutos, automóveis, cabine de caminhões e fuselagem de aviões são apenas alguns exemplos práticos destes tipos de sistemas.

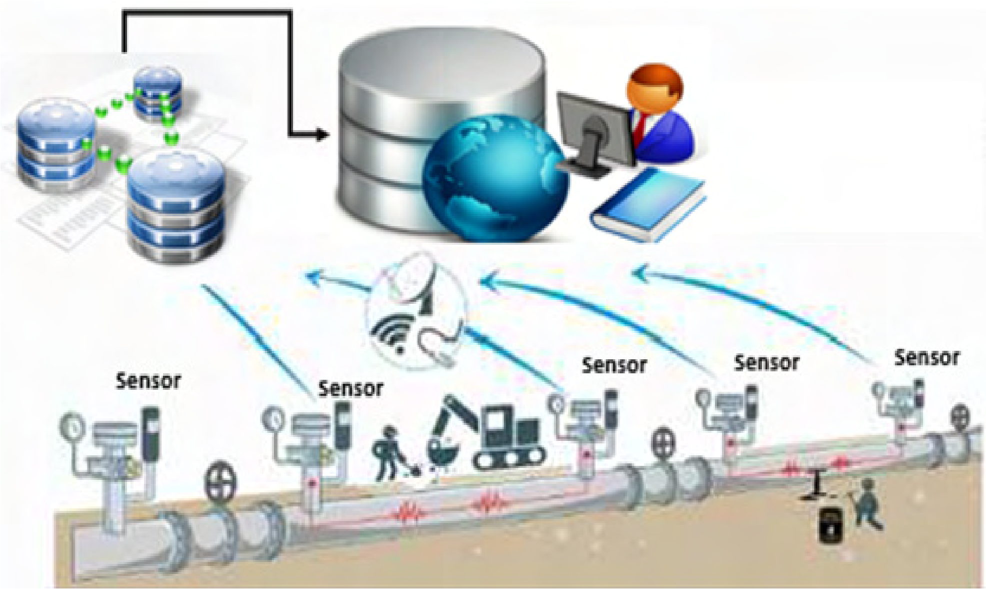


Figura 8 - Tecnologia vibroacústica nos dutoviários.

Tecnologia de PIG instrumentado com passagem em alta frequência e baixo custo

Utilização de Pigs instrumentados convencionais (tipo MFL) para detecção e localização de perfuração no sistema dutoviário. Atualmente, o Pig instrumentado é a ferramenta que fornece a mais precisa localização de variáveis que comprometem o sistema dutoviário.

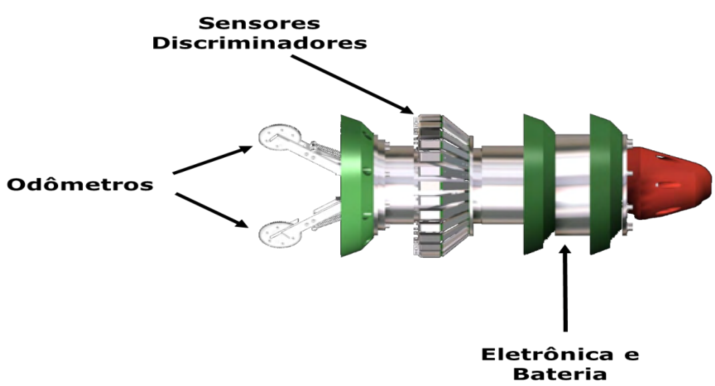


Figura 9 - PIG MFL I.

Nota: De “MFL inspection”, por Pipecare Innovative Solutions, s.d. (https://www.pipecaregroup.com/mfl-inspection/).

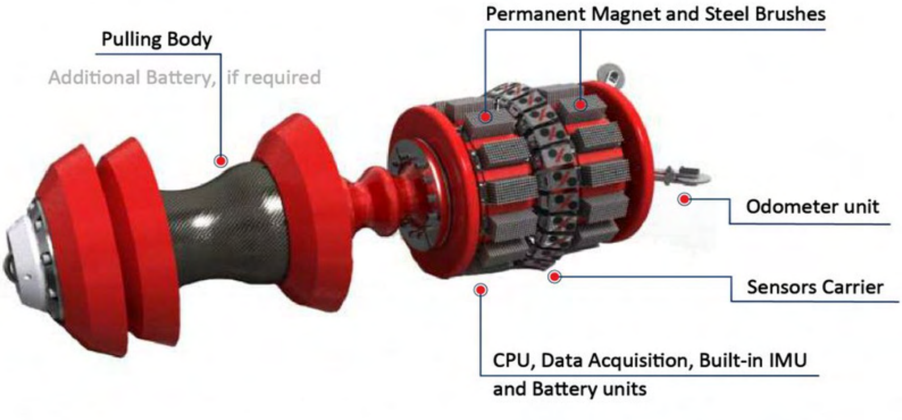


Figura 10 - PIG MFL II.

Nota: De "MFL pigging", por Dacon, s.d. (https://www.dacon-inspection.com/pipeline-services/in-line-inspection/mfl-pigging/).

A ideia principal é localizar o vazamento através da queda de pressão que o vazamento gera dentro do duto. A alta incompressibilidade do óleo é uma propriedade que nos incentiva a utilizar esta técnica, pois sua despressurização é grande e rápida para pequenas perdas de produto.

A amplitude da queda de pressão está diretamente associada à relação entre o volume estanque e o volume vazado. Quanto menor a diferença entre os volumes maior é a queda de pressão. No caso de oleodutos a queda de pressão na seção de um vazamento é baixa, pois o volume vazado é muito menor que o volume total do duto. Por isto a detecção de vazamentos por sensores de pressão instalados ao longo do duto só é eficiente para grandes vazamentos, quando o volume vazado se compara ao volume bombeado. Para vazamentos pequenos, a solução seria diminuir o volume estanque, de forma a termos uma boa relação com o volume vazado. Com o objetivo de criar esta região de volume estanque no trecho do vazamento, foi projetado o pig detector de vazamentos. Os copos de propulsão do pig são especiais com grande poder de vedação e criam entre eles uma região com produto bem confinado. Esta região intermediária é chamada de "volume de teste". O funcionamento do pig baseia-se no registro da queda de pressão do volume de teste quando em contato com o vazamento. O esquema a seguir apresenta uma visualização geral do pig.

ANÁLISE DE RESULTADOS

O objetivo deste artigo foi apresentar conceitos e técnicas referente a tecnologia em Data Mining para proteção de dutos ou transporte dutoviário de petróleo, gás e derivados. Realizando uma análise crítica dos dados coletados com uma extensiva explicação de

seus significados. Demonstrando que os dados validam total ou parcialmente a hipótese de pesquisa.

Após entender que nos últimos dez anos, o segmento empresarial identificou o aumento significativo de intervenções não autorizadas nos dutos operados em produção, confirmando que esses eventos não eram mais casos isolados e que ações imediatas de combate a essa modalidade de crime deveriam ser iniciadas. Em vista disto intensifica o uso de tecnologia e aperfeiçoa-se os controles, os trabalhos de inteligência e as detecções, visando conter, evitar ou mitigar danos a pessoas, instalações, meio ambiente e a imagem das companhias e do estado.

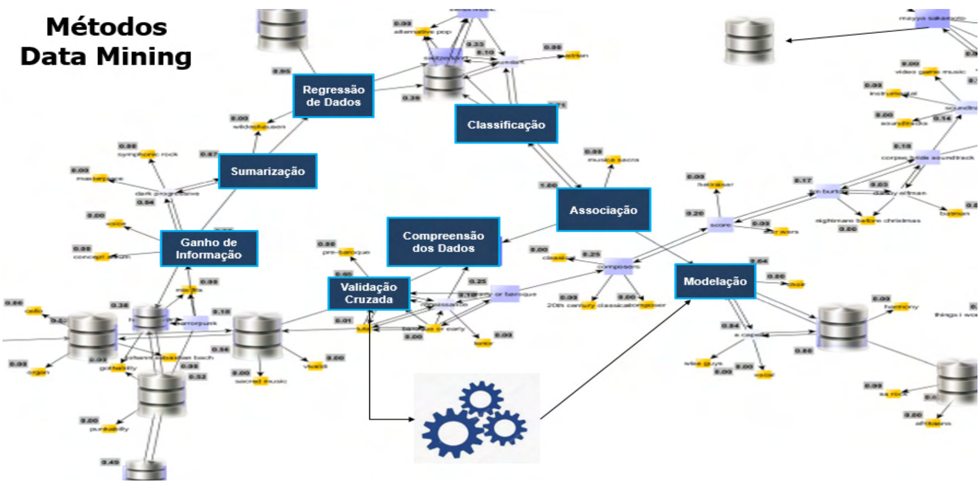


Figura 11 - Métodos Data Mining.

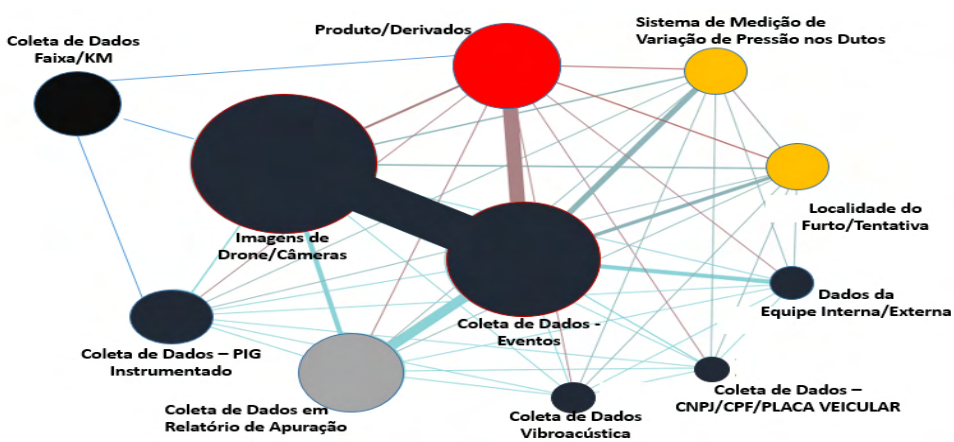


Figura 12 - Análise de variáveis em grafo.

Essa rede, ou grafo, mostra o cenário no período da Intervenção no Sistema de Dutoviário (furto), quando foram coletados dados das principais variáveis sobre o tema

produzidos por N furtos/dutos. Os nós (ou vértices) são os círculos que concentram grupos específicos de dados referente ao tema “Proteção no Sistema Dutoviário”.

Tecnologia Line-x é formada por poliuretanos elastómeros pulverizados de alto rendimento compostos orgânicos voláteis (voc) e 100 % sólido

Line-x é amplamente usada para proteção de superfícies contra produtos químicos, furtos em dutos, abrasão e entradas de água, além de oferecer uma imensa durabilidade, excelentes propriedades para selagem de fissuras e uma selagem sem emendas

Excelente aderência a:

- Plástico.
- Madeira.
- Metal (aço, alumínio, etc.).
- Membrana de pvc.
- Amianto.
- Fibra de vidro.
- Permite uma drenagem natural.
- Superfície consistente e resistente.
- Selagem impermeável e hermética, evita a ferrugem e corrosão.
- Resistente a riscos e antiderrapante.
- Adequado a todas as marcas e modelos de pick-ups.
- Acompanha os contornos da caixa de carga do veículo.
- Revestimentos coloridos disponíveis.
- Proteção antimicrobiana opcional disponível.
- Proteção química.



Figura 13 - Aplicação da tecnologia Line-x em dutos.

Nota: De: https://www.linexdobrasil.com.br/revestimento.

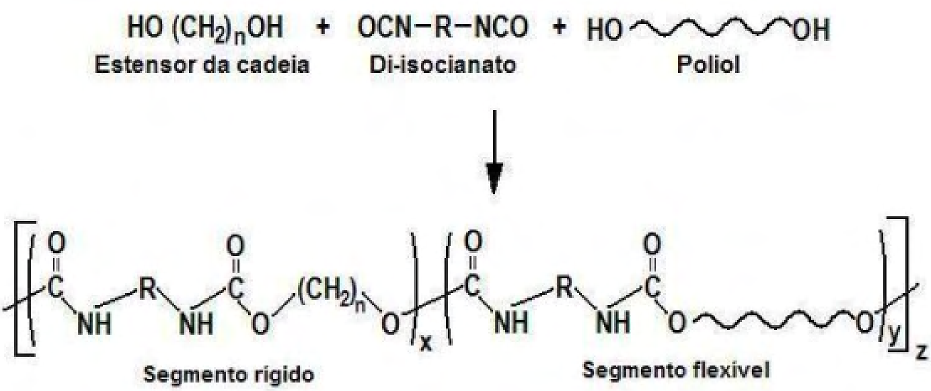
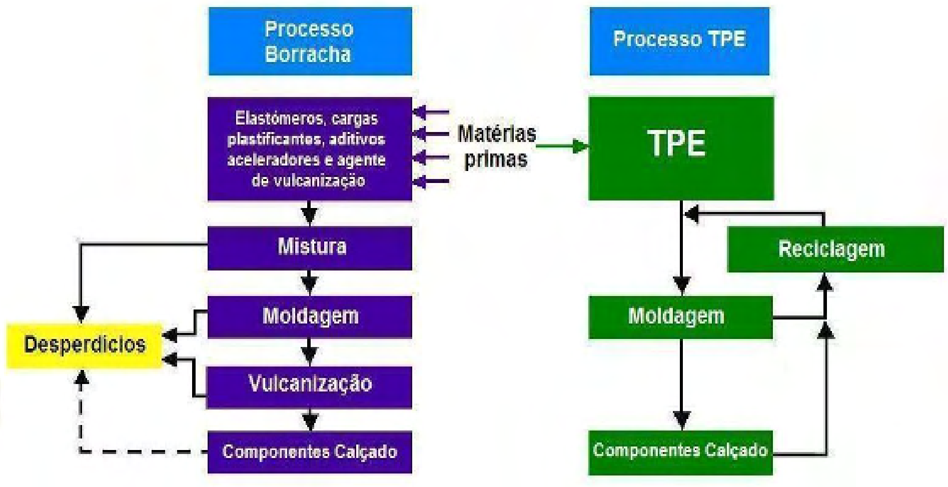


Figura: 14 - Elastómeros termoplásticos de poliuretano (TPU).

Nota: De https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/materias-primas/borrachas/elastomeros-termoplasticos/.

Vamos agora comparar os tipos de processamento dos ***elastómeros termoplásticos*** e dos ***elastómeros convencionais*** (borrachas) (**Figura 15**).



Nota: De:https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/materias-primas/borrachas/elastomeros-termoplasticos/.

A figura mostra as ***diferenças de processamento*** dos dois tipos de materiais, bem mais complicado e oneroso no caso da ***borracha vulcanizada***. É óbvio que, no caso dos ***elastómeros termoplásticos***, a vantagem na reutilização dos desperdícios e rebarbas só se verifica se esses desperdícios forem devidamente segregados, moídos e reintegrados no processo, na percentagem recomendada. No caso da ***borracha***, a incorporação de desperdícios reciclados é, regra geral, mais problemática.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo, apresento as considerações finais referente ao tema Tecnologia da Informação aplicada na Proteção do Transporte Dutoviário. Onde o projeto será implementado por processos de extrações de dados analíticos e forenses, de acordo com a necessidade, ou por processo de integração a nível de dados na solução Data Analytic Inside ou a partir de serviços de consumo por APIs, via o Data Analytic.Essas duas aplicações, utilizando algoritmos matemáticos com precisão, é possível de Outsenvolver um sistema em Data Mining capaz de criar e administrar banco de dados investigativo. Uma vez que a equipe conta como arquitetura de Banco de Dados via SqL, esta passa a ter a capacidade de armazenar informação em banco de dados, potencializa o cruzamento, protege a informação, manipula e analisa de forma mais eficiente o volume de dados. O projeto proposto implementara os mapeamentos de vínculos entre as entidades mapeadas. Estes vínculos representam a associação entre as entidades. Irei utilizar o modelo de banco de dados MS SQL Server e Oracle, onde será possível utilizar a camada de dados do projeto. A ferramenta de ETL, responsável pelos processos de extração e transformação

de dados será a arquitetura Data Analytic Inside.

REFERÊNCIAS

Alvarez-Hamelin, J. I., Dall'Asta, L., Barrat, A., e Vespignani, A. (2006, 19 de maio). K-core decomposition: A tool for the visualization of large scale networks. Em Y. Weiss, B. Schölkopf e J. Platt (Eds.), Advances in Neural Information Processing Systems 18: Proceedings of the 2005 Conference. Bradford Book.

AP Sensing. (s.d.). Monitoramento de dutos. https://tinyurl.com/y3rt5ocx

Basgalupp, M. P. (2010). LEGAL-Tree: Um algoritmo genético multi-objetivo lexicográfico para indução de árvores de decisão [Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo]. Biblioteca Digital da USP.

Cai, Y., Cong, G., Jia, X., Liu, H., Ele, J., Lu, J., e Du, X. (2009). Efficient algorithm for computing link-based similarity in real world networks. XIII International Conference on Data Mining, Miami, Florida, Estados Unidos. https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/ICDM.2009.136

Cisneros, P. (2015, 4 de outubro). Policy networks and policy change in the Ecuadorean mining sector: dealing with the legacy of neoliberalism. https://tinyurl.com/yxjhffs6

Clésio, F. (2017, 1 de abril). Data Mining, Machine Learning e Data Analysis. https://mineracaodedados.wordpress.com/tag/regressao-logistica/

Columbus, L. (2018, 11 de junho). 10 way to machine learning is revolutionizing supply chain management. https://tinyurl.com/y6y5rlzm

Conceitos básicos. (s.d.). Recuperado de https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/6229/6229_4.PDF

Congna, Q., Huifeng, Z., e Bo, L. (2009, 15 a 17 de maio). Study on application of data mining technology to modern logistics management decision [Artigo]. International Forum on Information Technology and Applications, Chengdu, China.

Cordeiro, M. (2020, 16 de março). O que é ROI? Descubra se seus investimentos estão valendo a pena calculando o Retorno Sobre o Investimento. https://rockcontent.com/br/blog/roi/

Dacon. (s.d.). MFL pigging. https://www.dacon-inspection.com/pipeline-services/in-line-inspection/mfl-pigging/

Dorogovtsev, S. N., Goltsev, A. V., e Mendes, J. F. F. (2006). k-core organization of complex networks. Physical Review Letters, 96(4), 040601. https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.96.040601

Eisenstat, S. C. e Ipsen, I.C.F. (1998). Relative perturbation results for eigenvalues and eigenvectors of diagonalisable matrices. BIT Numerical Mathematics, 38(3), 502-509. https://doi.org/10.1007/BF02510256

Fayyad, U., Shapiro, G. P., e Smyth, P. (1996). From Data Mining to knowledge discovery in databases, *Artificial Inteligence Magazine*, *17*(3), 37-54.

Mendroni, Marcelo Batlouni - Crime Organizado Aspectos Gerais e Mecanismos Legais 5° Edição

CAPÍTULO 11

DYNAMIC FUZZY COGNITIVE MAPS DEVELOPTMENT TECHNIQUE INSPIRED IN ANT COLONY OPTMIZATIONS, SWARM ROBOTICS, AND SUBSUNCTION ARCHITECTURE

Data de aceite: 01/03/2022

Márcio Mendonça
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM)
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/5415046018018708

Marta Rúbia Pereira dos Santos
ETEC – Jacinto Ferreira de Sá
Ourinhos – SP
http://lattes.cnpq.br/3003910168580444

Fábio Rodrigo Milanez
Faculdade da Indústria SENAI Londrina
Londrina – PR
http://lattes.cnpq.br/3808981195212391

Wagner Fontes Godoy
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/7337482631688459

Marco Antônio Ferreira Finocchio
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/8619727190271505

Carlos Renato Alves de Oliveira
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento de Engenharia Mecânica
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/6825913217364076

Mario Suzuki Junior
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Estudante de Engenharia Elétrica
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/1190228107571752

Ricardo Breganon
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (UTFPR)
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/2441043775335349

Francisco de Assis Scannavino Junior
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/4513330681918118

Lucas Botoni de Souza
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Cornélio Procópio – PR
http://lattes.cnpq.br/5938489268359300

Michele Eliza Casagrande Rocha
Universidade Norte do Paraná -Unopar
Engenheira Projetista Elétrica
Londrina - Pr
http://lattes.cnpq/4411484670091641

Vicente de Lima Góngora
Faculdade da Indústria SENAI Londrina
Londrina – PR

ABSTRACT: This work presents a cooperative architecture for autonomous agents based on Dynamic Fuzzy Cognitive Maps (D-FCM), an

evolution of Fuzzy Cognitive Maps (FCM), emphasizing that FCM is an evolution of Cognitive Maps. This architecture develops an autonomous navigation system for mobile terrestrial robots, including learning capability, self-adaptation skills, and behavior management. The navigation system developed adopts a multi-agent approach, based on Rodney Brooks' subsumption architecture, which allows for hierarchical decision-making, with actions and parallel processing. Reinforcement learning is used to automatically tune the system, allowing the D-FCM to be self-adaptive. A bioinspired strategy inspired by the behavior of ants is used for indirect communication between agents and simulated in a virtual environment, comparing it with another cooperation method based on navigation data. This work ends with a discussion of the results. Furthermore, it finally concludes and addresses future work.
KEYWORDS: Dynamic Cognitive Maps, Cooperative Autonomous Agents, Subsumption Architecture, Swarm Robotics, Multi- agent systems.

DINÂMICA FUZZY COGNITIVA DE MAPAS TECNICA DE DESENVOLVIMENTO INSPIRADO NA OTIMIZAÇÃO DA COLÔNIA DE FORMIGA, ROBÓTICA DE ENXAME E ARQUITETURA SUBSUNÇÃO

RESUMO: Este trabalho apresenta uma arquitetura cooperativa para agentes autônomos baseada em mapas cognitivos difusos dinâmicos (D-FCM), uma evolução dos mapas cognitivos difusos (FCM), enfatizando que FCM é uma evolução dos Mapas Cognitivos. Esta arquitetura desenvolve um sistema de navegação autônomo para robôs terrestres móveis, incluindo capacidade de aprendizagem, habilidades de auto adaptação e gerenciamento de comportamento. O sistema de navegação desenvolvido adota uma abordagem multiagente, baseada na arquitetura de subsunção de Rodney Brooks, que permite hierarquicamente a tomada de decisões, com ações e processamento paralelo. O aprendizado por reforço é usado para sintonizar automaticamente o sistema, permitindo que o D-FCM seja auto adaptativo. Uma estratégia bioinspirada inspirada no comportamento de formigas é utilizada para comunicação indireta entre agentes e simulada em um ambiente virtual, comparando-a com outro método de cooperação baseado em dados de navegação. Este trabalho termina com uma discussão dos resultados. Além disso, finalmente conclui e endereça trabalhos futuros.
PALAVRAS-CHAVE: Mapas Cognitivos Dinâmicos, Agentes de Navegação Cooperativos, Arquitetura de Subsunção, Robótica de enxame, Sistema Multiagentes.

1 I INTRODUCTION

Research in autonomous robotics, particularly collective robotics using biologically inspired systems by social insects (collective intelligence), is known in the literature. For example, works on swarm robotics using a group of robots inspired by insect colony behavior can be found in (Mohan and Ponnambalam, 2009).

The term "Swarm Intelligence" refers to sophisticated collective behavior that can emerge from the combination of many simple individuals, each operating autonomously (Sharkey, 2006). Thus, Swarm intelligence is "a property of systems of non-intelligent robots exhibiting collectively intelligent behavior".

In this work, mobile robots with exploration abilities share the information with other mobile robots, and the method used to share the information is inspired by the behavior of ants, implementing concepts of artificial pheromone.

Generally, Artificial Intelligence (AI) has application in various areas of knowledge such as neuro-biological, mathematics, and computer science. The research area of an intelligent system is aimed at developing computational methods that try to imitate or approximate the capacity of humans being to solve problems. These new methods attempt to emulate the ability of humans to cope with very complex processes based on inaccurate or approximate information. However, this information can be obtained from the specialist knowledge and / or operational data or behavior of an industrial system (Passino and Yurkovich, 1997).

There are studies in the literature that uses heuristic knowledge for modeling decision making in autonomous navigation through fuzzy systems; for example: Astudillo et al., 2006; Min et al., 2006; Mendonça, 2011).

Researches in autonomous robotics, in particular collective robotics using biological systems inspired by social insects (collective intelligence) are known in the literature (Bayindir and Sahin, 2007). Works about collective robots "Swarm Robotics" are listed as follows. Parker (2008) uses robots groups inspired by insect colony behavior to manage agents at their function's execution exploration in environment. The application of techniques and/or concepts of collective robots are related to autonomous system and multi-agent systems. The theory of multi-agent systems is usually required to solve problems in dynamic and unpredictable environments. In such circumstances, a capacity to learn is particularly important for environment with rapid change (Wooldridge and Jennings, 1995). From autonomous agents' theory, particularly cooperative autonomous agents, it should be emphasized the ability of autonomy of the agent, alone and/or in a group, i.e., the success in different settings without human intervention (Russel and Norvig, 1995).

A multiple agent's control architecture for swarm robotics was developed in Vasile, Pavel and Buiu (2011), where a "man-swarm" interface was proposed. This architecture allows an operator to monitor and guide a swarm of robots to complete certain tasks through an agent by a GUI (graphical user interface). The robots are divided into local and social agents, where the local agents have the function to move, avoid obstacles and location. The control algorithm is implemented in the social agent based on an adapted version of PSO technique, a method developed by Kennedy, Eberhart and Shi (2001) to simulate behaviors of swarm, insect colonies and flocks of birds. The work of Mendonça et al. (2013) uses a DCN (Dynamic Cognitive Networks) for navigation and sharing memory path in unknown scenarios with explorer robots.

This paper discusses problems with sequential decisions in partially or totally unknown environment with multiple objectives. At this level of complexity, the proposed architecture presents learning, tuning and adaptation capacity, action management, and

finally, at the highest level of the D-FCM (Dynamic-Fuzzy Cognitive Maps) architecture.

Finally, a concept explored in this work is collective intelligence, in which the architecture uses the agent capacity of evolution. Evolution is conceptually different from learning because an agent can only evolve if it inherits knowledge from another agent, while learning the agent only needs himself (De Castro, 2007).

This paper is organized as follow: Section 2 presents a brief discussion of Fuzzy Cognitive Maps. Section 3 describes briefly the architecture of the D-FCM. Section 4 presents the simulated initial results. Section 5 shows the conclusions and finish the paper.

2 I FUZZY COGNITIVE MAPS

Cognitive maps were first presented by Axelrod (1976) in order to express the cause-effect relationships of the elements of an environment in binary values. Fuzzy cognitive maps have enjoyed a visible position in fuzzy modeling as graph-oriented models describing relationships among concepts (Pedrycs; Homenda, 2013). Fuzzy cognitive maps are fuzzy signed digraphs with feedbacks, and they can model the events, values, goals as a collection of concepts by forging a causal link between these concepts (Kosko, 1986).

As mentioned in (Papageorgiou and Salmeron, 2013), there is an enormous interest in FCMs and this interest on the part of researchers and industry is increasing, especially in the areas of control (Stylios and Groumpos, 1998; Stylios and Groumpos, 2004; Papageorgiou, Stylios and Groumpos, 2006), business (Lee and Ahn, 2009; Glykas, 2013), medicine (Papageorgiou, Roo and Huszka, 2012; Papageorgiou and Froelich, 2012; Douali et al., 2011), robotics (Motlagh et al., 2012a, 2012b), environmental science (Kok, 2009; Ramsey et al., 2012; Acampora and Loia, 2011) and information technology (Buyukozkan and Vardaloglu, 2012; Lee and Lee, 2012).

In this work the D-FCM, one of the proposed evolutions of the FCM, is developed directly by experts' knowledge. In other words, the concepts and relationships between them are modeled by heuristic or empirical knowledge of experts.

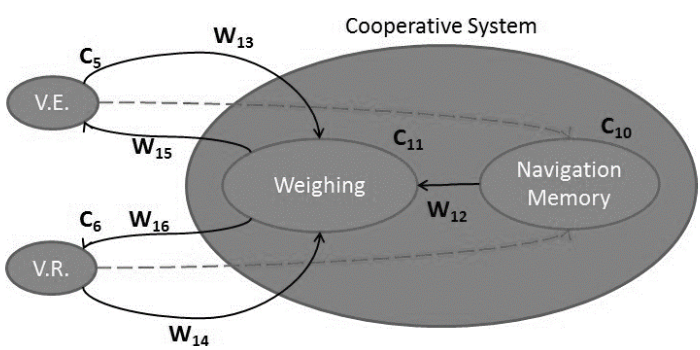


Figure 1 – Simplified D-FCM model for data processing in trajectory sharing strategy.

Figure 1 shows a simplified version of this trajectory-sharing strategy. Where the concepts V.E. and V.R. are related to the outputs turn left and turn right, respectively. The variables W13~16 represent the causal relationships between concepts.

For this method, two new concepts were implemented to the D-FCM, the Navigation Memory (C10) and Weighting (C11). The concept C10 saves the navigation data and shares them. It is noteworthy that there is no causality between the concepts C5/C6 and C10, represented by the red dotted line, that only acquire the data to be saved in the memory. The concept C11 treats and weighs the information from the outputs C5 and C6 with C10. After this treatment is done, C5 and C6 receive new values.

The second strategy is inspired in ant´s colony communication for foraging, in which the ant releases a chemical (called pheromone) to demarcate the path traveled. Transmitting and receiving data implicitly on the path taken by the colony. In other words, the agent will travel through the environment and leave demarcations (pheromones) about his path taken in the environment, and other agent interpret that pheromone and use it to aid his decision making.

To implement this strategy, three new concepts were added to the D-FCM, the concept of Pheromone Release (C10), Weightings (C12) and Pheromone Detection (C11). In addition, two new concepts of selection are added, WS5 and WS6. The figure 2 shows a simplified model of this method. Where the concepts S.E., S.F. and S.D. are related to the left, frontal and right sensors, respectively. The black dotted lines imply in concept values that are used only to select the state of the D-FCM.

The C10 concept manages the pheromones to be released by the agent, if the selection criteria are met (WS5). The C11 concept is a new “input” variable for the D-FCM, similar to the input sensors, this concept detects the pheromones left by other agents. These pheromones are considered as secondary targets, not being necessary for the agent to capture it, however, helping in the decision-making process of the system, anticipating obstacle avoidance maneuvers or on capturing targets. A selection system between the concepts C11 and C12 will alter the causal relationship of W12, referring to its intensity, given by the selection rule WS6. The C12 concept is similar to the Weighting concept from the trajectory sharing strategy. This concept will weigh the information acquired by the outputs C5 and C6 and the information from the pheromone reading. C5 and C6 will receive new values after the treatment is done.

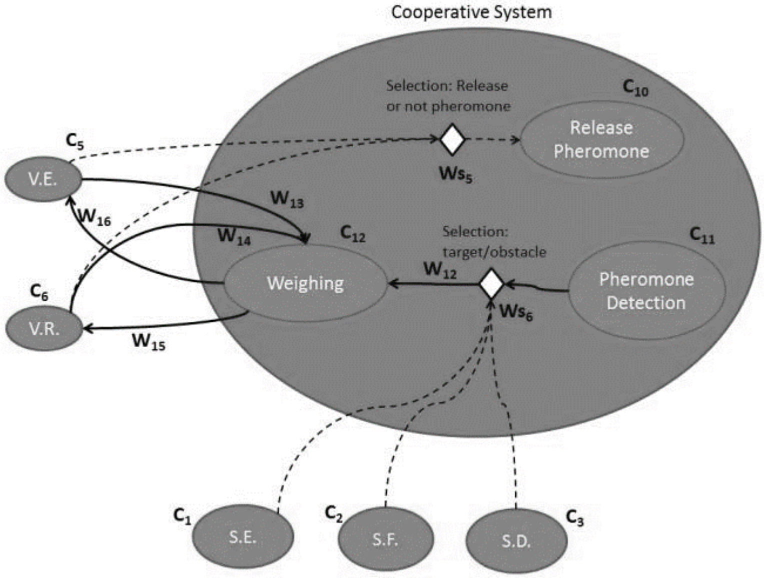


Figure 2 – Simplified D-FCM model for data processing in pheromone sharing strategy.

A counter is also inserted into WS5, specifically to assist when the state of release pheromone is triggered, giving it some periodicity. This counter will decrease in values that are directly related to the intensity of the outputs V.E. and V.R., in other words, the value subtracted from the counter will be higher when V.E. and V.R. are high, and lower when the V.E. and V.R. are low. For instance, some of the rules for the selection methods WS5 and WS6 are:

- (Ws5) **IF** (V.E. and V.R. are high **AND** counter is low) **OR** (counter is very low) **THEN** Pheromone Release is triggered.
- (Ws6) **IF** detected an obstacle **THEN** the weight W12 is medium.
- (Ws6) **IF** detected a target **THEN** the weight W12 is low.

Briefly, the cooperative system covers techniques or models for cooperative navigation. The strategy used for this work was inspired by Swarm Robotics. Therefore, the agent will use the experience from another agent as follow: the first agent passes and leaves a pheromone in the environment, or a data stored in a navigation memory, the next agents will use this “navigation experience” in their decision making.

In the test scenarios there are fixed, dynamic and unexpected (arise during the course) obstacles, as will be demonstrated in the next topic. Therefore, in a simplified form, the expectation of the Swarm Robotics concepts applied in the D-FCM architecture aims to increase the performance of a group of agents, performing tasks with higher level of complexity.

3 I RESULTS

A simulation environment with 2-D animation was developed to test and validate the proposed cooperation navigation system. In the simulation environment, the trail with three colors symbolizes the mobile robot. The light "+" signs represent the static and unexpected obstacles, the strong "*" sign represents the dynamic obstacle and the "." sign represent the pheromones left by the agent, they are represented by two colors, yellows for pheromones released by other agents and green for the ones release by the agent. The "Δ" represent the targets. In the simulation, a track or trail is used to show the trajectory of the dynamic obstacle.

The results are shown in the following figures. In these figures, the graph shows a scene in the plane XY with a starting point (15, 0) and end point (0, 205) of the robot trajectory. The graph also shows the dynamic path traversed by the agent. The flaws in the trajectory represent the speed ups, when the sensors don't detect any obstacles or targets, the robot accelerates. In all experiments was found that the robot reaches the destination point within a [-8, 8] range. Figure 3 shows the virtual environment used for the simulation.

In these experiments, an unexpected dynamic obstacle appears on the scenario when the robot is passing by the coordinates (6, 88), in this region there is a critical situation. The presence of dynamic obstacles increases the difficulty of the strategy employed by the controller Right after moving to divert the mobile obstacle, the agent faces a "wall" of obstacles created by the unexpected obstacles. Similarly, the mobile obstacle traverses a linear path between the points (-11, 86) and (3, 86), so that the mobile robot will need to decide on the action to be taken.

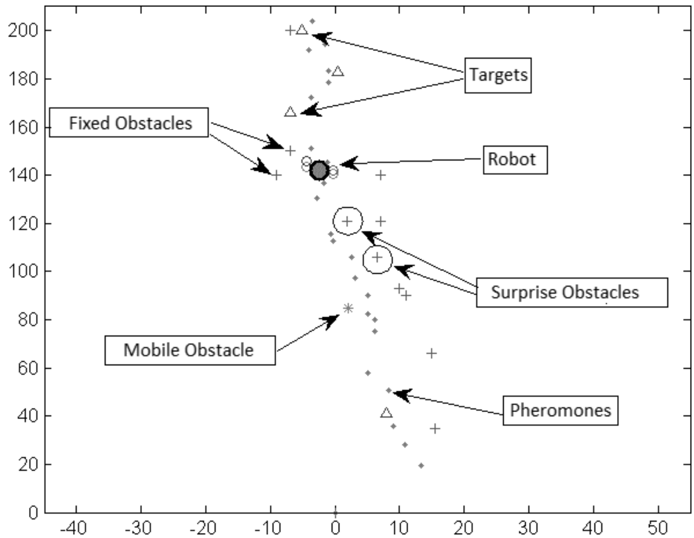


Figure 3 – Simulated Environment.

Figures 4, 5 and 6 show the navigation path using the first cooperation method, which the information stored in a memory about the path taken by previous agent. Figure 4 shows the simulation result of a first agent navigating through the unknown environment.

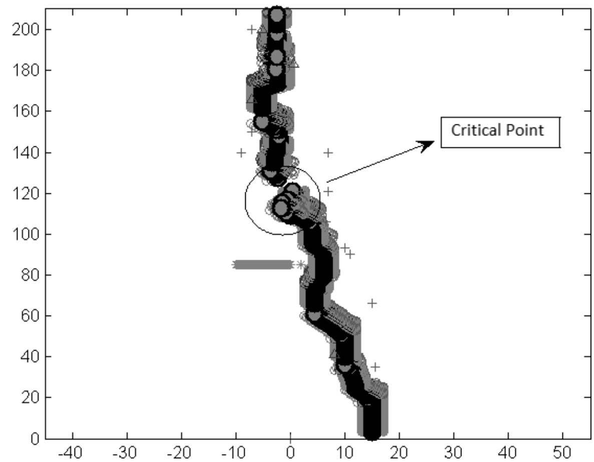


Figure 4 – First agent – D-FCM with trajectory sharing.

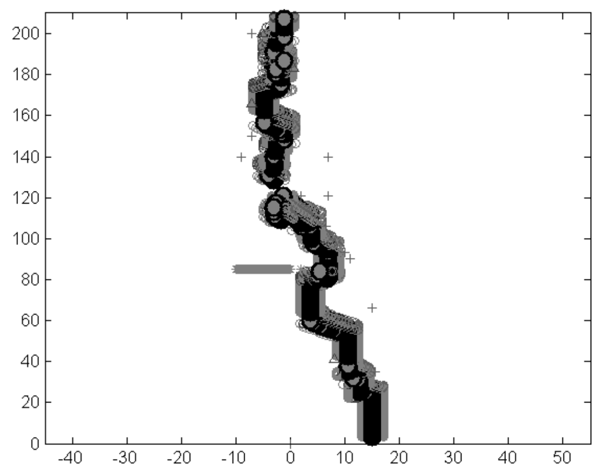


Figure 5 – Second agent – D-FCM with trajectory sharing.

There is a critical point near the point y=110, where the agent triggers the reverse state to divert the obstacle. The agent must also perform the reverse maneuver to divert the obstacle in figure 5 as well. Figure 6 shows the trajectory of the third agent. This agent is able to bypass the obstacles in the critical point (y=110) without triggering the reverse state, but he does not reach the first target. It is noticed also that the trajectory of the agents is smoothed comparing the first and the third agent trajectories.

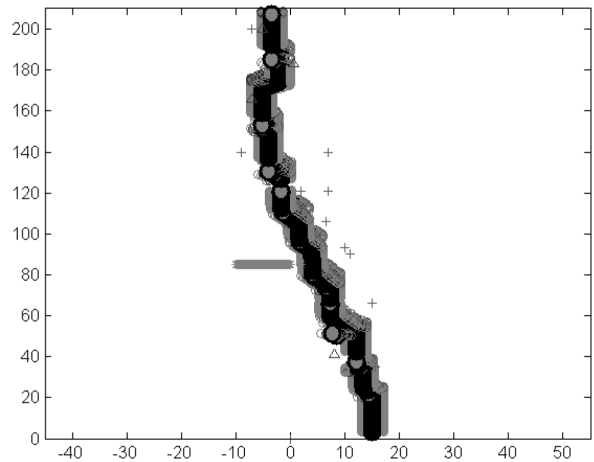


Figure 6 –Third agent – D-FCM with trajectory sharing.

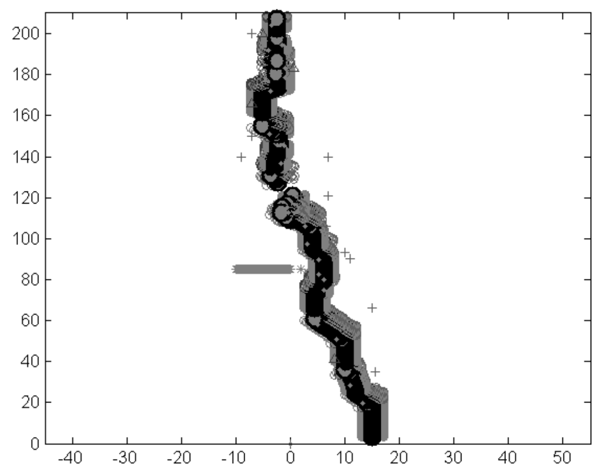


Figure 7 – First agent – D-FCM with Pheromone sharing.

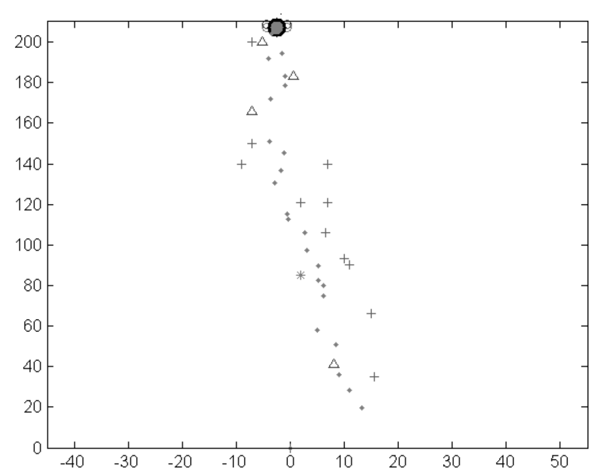


Figure 8 – First agent – D-FCM with Pheromone sharing - Trail of pheromone.

Figures 7, 9 and 11 show the results obtained by the cooperation method using pheromones. Figures 8, 10 and 12 shows the trail of pheromones left by the agent. The agents in the figure 4 and 7, being a first navigation, both agents don't have any shared information, so their trajectories are the same.

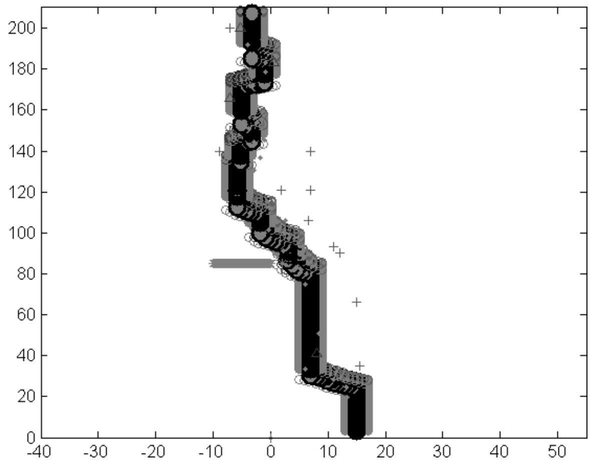


Figure 9 – Second agent – D-FCM with Pheromone sharing.

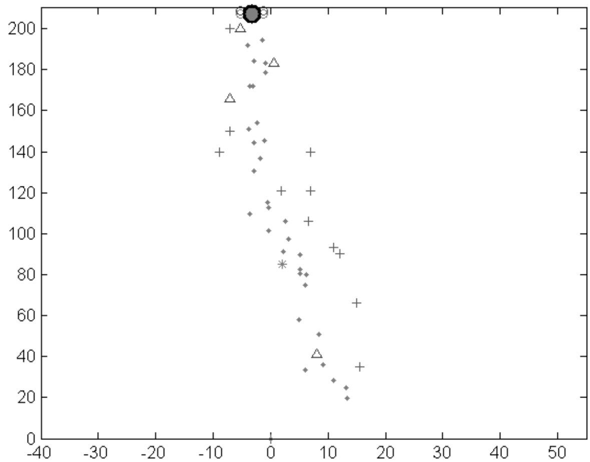


Figure 10 – Second agent – D-FCM with Pheromone sharing - Trail of pheromone.

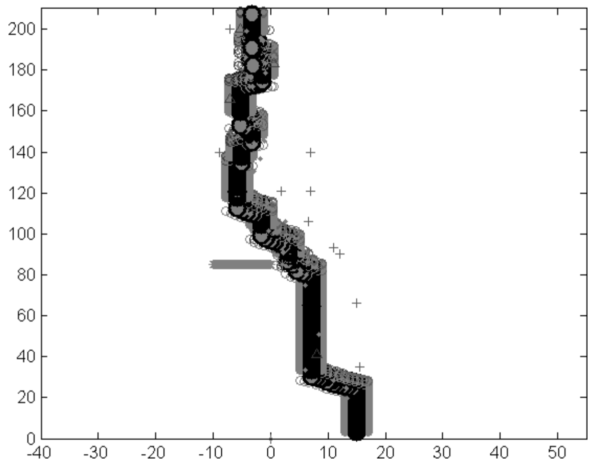


Figure 11 – Third – D-FCM with Pheromone sharing.

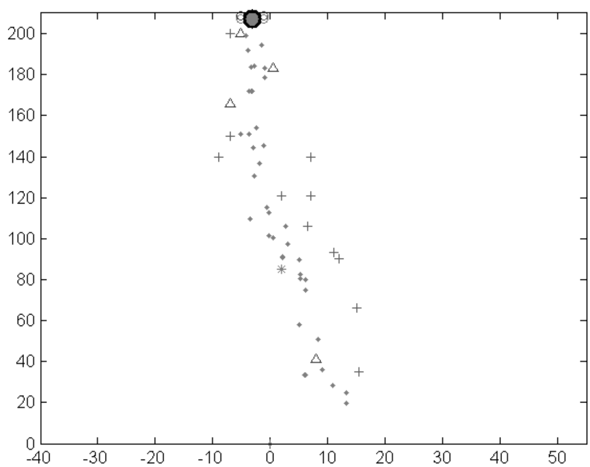


Figure 12 – Third agent – D-FCM with Pheromone sharing - Trail of pheromone.

4 | CONCLUSION

This paper presents an architecture for cooperative autonomous agents based on dynamic-fuzzy cognitive maps and inspired by concepts of Swarm Robotics. The subsumption architecture proposed allows decision-making in a dynamic environment, three different mapping layers that model different types of knowledge. These layers work together to contribute to the successful implementation of the strategy. Moreover, training methods are used for the calibration of offline models and experience sharing among agents. Finally, a reinforcement learning algorithm is also used for model tuning.

The results presented indicate that the D-FCM model demonstrated a capacity for learning, adaptation, and cooperation, allowing the agent to be rational, i.e., during the navigation, the inferences of specific sequences of actions allowed the agent to achieve its

goals (explore the environment, avoid obstacles and capture targets) with good performance.

Moreover, the capacity of the exploration group tends to be increased when there is a collaboration between team members. The purpose of this study was achieved by exploring an unknown environment only with sensor detection distance between objects without the use of a camera.

Further studies aim to improve the cooperative system, to allow the coexistence of multiple agents performing tasks in groups. New features should also be added, such as power management.

REFERENCES

Acampora, G.and Loia, V. (2011). **On the Temporal Granularity in Fuzzy Cognitive Maps**," IEEE Transactions Fuzzy Systems, vol 19 no 6, pp. 1040-1057.

Astudillo, L.; Castillo, O.; Melin P.; Alanis, A.; So- ria, J. and Aguilar, L. T. (2006). **Intelligent Control of an Autonomous Mobile Robot using Type-2 Fuzzy Logic**. Engineering Letters, v. 13, n. 2.

Axelrod, R. (1976). **Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites**. Princeton, NJ: Princeton Univ. Press.

Bayindir, L. and Sahin, E. (2007). **A Review of Studies in Swarm Robotics. Kovan Research Lab.**, Dept. of Computer Eng. Middle East Technical University, Ankara–Turkey. In: Turk J Elec Engin, v. 15, n. 2.

Buyukozkan, G. and Vardaloglu, Z. (2012). **Analyzing Of CPFR Success Factors Using Fuzzy Cognitive Maps in Retail Industry**. Expert Systems with Applications, vol. 39 no. 12, pp.10438- 10455.

De Castro, L. N. (2007**). Fundamentals of Natural Computing: An overview. Physics of Life Reviews**, v. 4, p. 1-36.

Douali, N.; Papageorgiou, E. I.; Roo, J. De and Jaulent, M. C. (2011). **Case Based Fuzzy Cognitive Maps: New Method for Medical Reasoning: Comparison Study Between CBFCM/FCM**. IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), pp. 844–850.

Glykas, M. (2013). **Fuzzy Cognitive Strategic Maps in Business Process performance Measurement**. Expert Systems with Applications, vol. 40, no. 1, pp. 1–14.

Kok, K. (2009). **The Potential of Fuzzy Cognitive Maps for Semi-Quantitative Scenario Development, With an Example from Brazil**. Global Environmental Change, vol. 19 no. 1, pp. 122-133.

Kosko, B. (1986). **Fuzzy cognitive maps**, International Journal of Man-Machine Studies, vol. 24, pp. 65–75.

Lee, S. and Ahn, H. (2009). **Fuzzy Cognitive Map Based on Structural Equation Modeling for the Design of Controls in Business-to-Consumer Ecommerce Web-Based Systems**. Expert Systems with Applications, vol. 36 no. 7, pp. 10447-10460.

Lee, K. C. and Lee, S. (2012). **A Causal Knowledge- Based Expert System for Planning an Internet-Based Stock Trading System**. Expert Systems with Applications, vol. 39 no. 10, 8626-8635.

Malhotra, R. and Sarkar, A. (2005**) Development of a Fuzzy Logic Based Mobile Robot for Dynamic Obstacle Avoidance and Goal Acquisition in an Unstructured Environment**. Proceedings of the 2005 IEEE/ASME International Monterey, California, USA, p. 24-28.

Mohan, Y.; Ponnambalam, S. G., (2009). **An extensive review of research in swarm robotics**, Nature & Biologically Inspired Computing, 2009. NaBIC 2009. World Congress on, vol., no., pp.140, 145, 9-11 Dec.

Motlagh, O.; Tang, S. H.; Ismail, N. and Ramli, A. R. (2012a). **An Expert Fuzzy Cognitive Map for Reactive Navigation of Mobile Robots**. Fuzzy Sets and Systems, vol. 201, pp. 105–121

Motlagh, O.; Tang, S. H.; Ramli, A. R. and Nakhaeinia, D. (2012b). **An FCM Modeling for Using a Priori Knowledge: Application Study in Modeling Quadruped Walking**. Neural Computing & Applications, vol. 21 no. 5, pp. 1007-1015.

Mendonça, M. (2011). **Uma Contribuição ao Desenvolvimento de Sistemas Inteligentes Utilizando Redes Cognitivas Dinâmicas**. Tese. Curitiba: UTFPR.

Mendonça, M.; Chrun, I. R.; Arruda, L. V. R. and Neves J. F. (2013). **Arquitetura de Controle para Agentes Autônomos Cooperativos Através de Redes Cognitivas Dinâmicas**. In: O Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI), 2013, Fortaleza.

Min, H.Q.; Hui J.X.; Lu Y-S. and Jiang Jz. (2006). **Probability Fuzzy Cognitive Map for Decision-making in Soccer Robotics**. Proceedings of the IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT'06) 0-7695- 2748-5/06.

Papageorgiou, E. I. and Salmeron, J. L. (2013). **Review of Fuzzy Cognitive Map research during the last decade**. Accepted for publication in IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol. 21 no. 1, pp. 66-79.

Papageorgiou, E. I.; Stylios, C. and Groumpos, P. (2006**). Unsupervised Learning Techniques for Fine-Tuning Fuzzy Cognitive Map Causal Links.** International Journal of Human-Computer Studies, vol. 64, pp. 727–743.

Papageorgiou, E. I.; Roo, J. D.; Huszka, C. and Colaert, D. (2012). **Formalization of treatment guide-lines using Fuzzy Cognitive Mapping and semantic web tools**, Journal of Biomedical Informatics, vol. 45 no.1, pp. 45-60.

Papageorgiou, E. I. and Froelich, W. (2012). **Application of Evolutionary Fuzzy Cognitive Maps for Prediction of Pulmonary Infections**. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, vol. 16 no. 1, pp. 143-149.

Passino, M. K. and Yourkovich, S. (1997). **Fuzzy control**. Menlo Park: Addison-Wesley.

Pedrycz, W. Homenda, W. (2013). **From Fuzzy Cognitive Maps to Granular Cognitive Maps**. Fuzzy Systems, IEEE Transactions on, vol. PP, no.99, pp.1, 1, 0

Ramsey D. S. L.; et al. (2012). **An Approximate Bayesian Algorithm for Training Fuzzy Cognitive Map Models of Forest Responses to Deer Control in A New Zealand Adaptive Management Experiment**. Ecological Modelling, vol. 240, pp. 93-104.

Russell, S. J. and Norvig, P. (1995). **Artificial Intelligence: A Modern Approach**. Englewood Cliffs: Prentice Hall.

Sharkey A. J. C., (2006) **“The Application of Swarm Intelligence to Collective Robots” in Advances in Applied Artificial Intelligence**, John Fulcher, Idea Group Publishing, 2006, pp. 157 - 185.

Stylios, C. D. and Groumpos, P. P. (2004). **Modeling Complex Systems Using Fuzzy Cognitive Maps**. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, vol. 34 no. 1, pp. 155-162.

Stylios, C. D. and Groumpos, P. P. (1998). **The challenge of modelling supervisory systems using fuzzy cognitive maps**, Journal of Intelligent Manufacturing, vol. 9, pp.339–345.

Vasile, C.; Pavel, A. and Buiu, C. (2011**). Integrating human swarm interaction in a distributed robotic control system**. Proceedings of the 2011 IEEE International Conference, p. 743-748.

Wooldridge, M.J. (2009). **An Introduction to Multi- agent Systems**. Chichester: WILLEY.

CAPÍTULO 12

PROPOSTA DE AUTOMAÇÃO DISTRIBUÍDA DE UM BANCO DE TRANSFORMADORES REGULADORES USANDO A NORMA IEC 61499

Data de aceite: 01/03/2022
Data de submissão: 09/01/2022

Marcos Fonseca Mendes
Itaipu Binacional
Divisão de Engenharia Eletrônica e Sistemas de Controle
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste
Centro de Engenharia e Ciências Exatas
http://lattes.cnpq.br/6557258854111396

Bruna Pletikoszits Andrade Parcianello
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste
Centro de Engenharia e Ciências Exatas

RESUMO: Alguns processos elétricos podem ser automatizados utilizando uma arquitetura distribuída. As tecnologias de automação e de comunicação atuais facilitam esse tipo de solução. A norma IEC 61499 é um marco nesse sentido. Ela permite a execução dos blocos de funções por orientação a eventos. Cada bloco funcional básico pode ter vários algoritmos, além de um gráfico de controle de execução, contendo: estados, transições e ações. O artigo aborda esses conceitos e também os modelos definidos na norma IEC 61499. Como prova de conceito, é apresentada uma proposta para automação distribuída de um banco de transformadores reguladores de tensão, usando vários CLP´s, com controles automático e manual.
PALAVRAS-CHAVE: Automação Distribuída, Controladores Lógicos Programáveis, Norma IEC 61499, Paralelismo de Reguladores de Tensão, Transformadores Reguladores de Tensão.

PROPOSAL OF DISTRIBUTED AUTOMATION OF A BANK OF REGULATOR TRANSFORMERS USING THE IEC 61499 STANDARD

ABSTRACT: Some electrical processes can be automated using a distributed architecture. The current automation and communication technologies facilitate this kind of solution. The IEC 61499 standard is a milestone in this approach. It allows the execution of function blocks by event orientation. Each basic function block can have several algorithms, in addition to an execution control graph, containing: states, transitions and actions. The article addresses those concepts and also the models defined in the IEC 61499 standard. As proof of concept, a proposal for distributed automation of a bank of voltage regulating transformers is presented, using several PLCs, with automatic and manual controls.
KEYWORDS: Distributed Automation, Programmable Logic Controllers, IEC 61499 Standard, Voltage Regulator Parallelism, Voltage Regulating Transformers.

1 I INTRODUÇÃO

Alguns processos do setor elétrico envolvem diversos equipamentos eletromecânicos distantes que poderiam ser automatizados de maneira distribuída. Entre

eles, pode ser citado o paralelismo de transformadores reguladores de tensão (HARLOW, 2012). A automação desse processo vem sendo realizada desde a forma convencional, usando lógicas com relés eletromecânicos, até a forma moderna, utilizando dispositivos eletrônicos inteligentes (IEDs, do Inglês: *Intelligent Electronic Devices*). Entretanto, uma abordagem distribuída pode ser explorada usando uma ferramenta específica para isso: a norma IEC 61499 "*Function Blocks*" (IEC 61499, 2012) (ZOITL; LEWIS, 2014) (ZOITL; STRASSER, 2015).

A norma IEC 61499 modela os sistemas de medição e controle de processos industriais como uma coleção de dispositivos físicos comunicando entre si através de redes de comunicação de dados. As funções do sistema de medição e controle são modeladas como aplicações que podem ser hospedadas em um único dispositivo físico ou podem ser distribuídas entre vários dispositivos. Como diferencial, a norma possibilita a execução dos algoritmos (contidos em blocos funcionais) a partir de eventos.

O artigo apresenta uma proposta para automação de um banco de transformadores reguladores utilizando Controladores Lógicos Programáveis (CLP´s) em uma arquitetura distribuída. A seguir são apresentados, muito brevemente, os transformadores reguladores, seu funcionamento e controle.

1.1 Transformadores Reguladores com OLTC e Paralelismo

As variações na tensão da rede de distribuição, causadas por quedas de tensão ou pela variação das cargas, podem afetar a vida útil dos equipamentos alimentados ou até mesmo desequilibrar o sistema. Uma das maneiras de contornar tal problema é o uso de transformadores reguladores equipados com comutadores de *tap*.

O comutador de *tap* (HARLOW, 2012) (CARVALHO; SIQUEIRA; NOGUEIRA, 2011) (VIEIRA, 2010) altera a tensão de saída do transformador regulador (através da variação da relação de transformação) com o objetivo de mantê-la próxima de um valor de referência pré-estabelecido. Alterando-se a tensão de saída do transformador é possível controlar a tensão na barra a qual ele está conectado. Quando esse processo é realizado em carga, o comutador é chamado de *On Load Tap Changer* (OLTC). Os OLTC´s são utilizados geralmente em sistemas de médias e altas potências como, por exemplo, em subestações.

Para garantir maior disponibilidade e maximizar a potência oferecida ao sistema, as concessionárias têm como prática comum a ligação de transformadores de potência em paralelo (HARLOW, 2012) (RAMBO; MARUYAMA, 2011).

Existem vários métodos para propiciar a operação de transformadores reguladores em paralelo. Um dos métodos mais utilizados é o denominado "mestre/escravo", adotado no estudo de caso deste trabalho. Seu funcionamento baseia-se em eleger um dos OLTC´s como mestre e todos os outros OLTC´s são escravos, de modo que, quando o mestre muda a posição de seu *tap*, os *tap*s dos escravos seguem a posição do mestre, simultaneamente. O posicionamento do *tap* do mestre pode ser feito manualmente ou automaticamente.

O trabalho apresenta uma solução de automação distribuída para atuar nas posições dos *taps* de um banco de transformadores reguladores com OLTC´s. O método de controle de tensão do tipo mestre/escravo é utilizado. A solução é baseada na norma IEC 61499 "*Function Blocks*" introduzida na próxima seção.

2 | NORMA IEC 61499

A norma IEC 61499 "*Function Blocks*" foi criada em 2005 e teve sua última edição publicada em 2012. Atualmente ela é dividida em três partes: IEC 61499-1 – "*Architecture*"; IEC 61499-2 – "*Software tool requirements*"; IEC 61499-4 – "*Rules for compliance profile*".

O foco da norma IEC 61499 é estabelecer um padrão de arquitetura para o uso dos chamados *Function Blocks* (FB´s). O conceito de FB, já abordado pela norma IEC 61131 – "*Programmable controllers*" (IEC 61131-3, 2013), foi ampliado. O diferencial está no fato dos FB´s contarem com uma interface de execução orientada a eventos, além da tradicional interface de dados. Além do mais, a norma IEC 61499 pode ser vista como uma ferramenta específica para o desenvolvimento de sistemas de controle distribuído. A norma tem facilidades para a modelagem de sistemas de controle de processos como uma série de dispositivos físicos interconectados através de redes de comunicação.

As subseções a seguir apresentam alguns conceitos e definições fundamentais da norma IEC 61499.

2.1 Function Blocks

Os FB´s são as entidades básicas da norma IEC 61499. Eles têm "conexões de dados" e "conexões de eventos". A Figura 1 ilustra o modelo de um FB, com suas entradas, saídas e componentes internos.

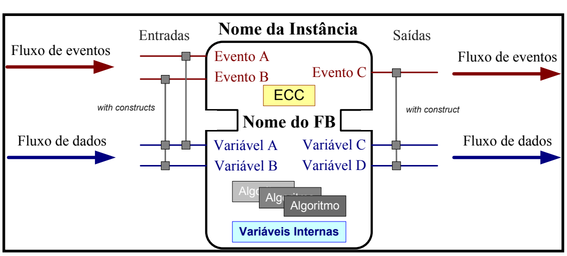


FIGURA 1 – Modelo de FB.

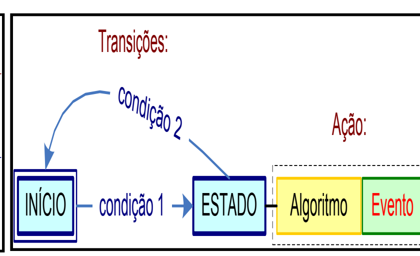


FIGURA 2 – Exemplo de ECC.

Cada FB é dividido em duas partes: a parte superior (parte dinâmica) é responsável pela execução de eventos e a parte inferior (parte funcional) representa os dados e algoritmos. O funcionamento do FB associa essas duas partes através de um recurso chamado "*with construct*" (mostrado na figura), que sincroniza a ocorrência de eventos com

a leitura e escrita de variáveis. Basicamente, ao ser detectado um evento de entrada em um FB, dá-se início a leitura de suas variáveis de entrada e a execução de seus algoritmos – que podem ser escritos em várias linguagens (como as definidas na parte 3 "*Programming languages*" da norma IEC 61131). Em seguida, de acordo com os algoritmos, podem ser gerados eventos de saída do FB, que por sua vez, disponibilizam variáveis na saída.

2.1.1 Tipos de Function Blocks

A norma IEC 61499 define quatro tipos de FB´s descritos a seguir (IEC 61499, 2012) (ZOITL; LEWIS, 2014) (ZOITL; STRASSER, 2015) (DAMASO, 2011):

- *Basic Function Block* (BFB): é o tipo mais elementar do gênero. Sua característica principal é ter um ou mais algoritmos, variáveis internas e, obrigatoriamente, um *Execution Control Chart* (ECC). Um ECC é similar a uma máquina de estados que conta com estados, transições e ações que são responsáveis por definir o comportamento de um BFB. A Figura 2 apresenta um exemplo simples de ECC;
- *Composite Function Block* (CFB): é um conjunto de instâncias de FB´s. Um CFB não tem variáveis internas e nem ECC. Além disso, sua ordem de execução é definida pelo fluxo de eventos de entradas e saídas dos FB´s que o compõe. Sua grande utilidade é o encapsulamento, que simplifica a apresentação das aplicações, de modo a substituir uma rede de FB´s por apenas um CFB;
- *Event Function Block* (EFB): é um tipo de FB pré-estabelecido pela norma cuja função é manipular eventos, seja para gerar um evento inicial ou para disparar simultaneamente múltiplas cadeias de FB´s;
- *Service Interface Function Block* (SIFB): é utilizado onde há a necessidade de interação entre FB´s e o mundo externo. Em sistemas de controle é comum a leitura de valores de entradas físicas, tais como sensores, ou a escrita de valores em saídas, para atuadores, por exemplo. Há também a necessidade de transmitir e receber dados entre dispositivos remotos através de redes de comunicação.

2.1.2 Service Interface Function Blocks

Existem dois comportamentos básicos que um SIFB pode assumir: "*responder*" e "*requester*" (IEC 61499, 2012). Um SIFB *requester* é do tipo "*application-initiated*", sendo ativado somente se receber um evento de entrada vindo diretamente do fluxo da aplicação. Já um SIFB *responder* é do tipo "*resource-initiated*", sendo ativado por um recurso externo, independente do fluxo de eventos dentro da aplicação. Esse conceito será exemplificado a seguir.

Como exemplos podem ser citados os SIFB´s para acessar as entradas e saídas de dispositivos físicos:

- *IO_Write*: é usado para atualizar o valor de atuadores. Ele é do tipo *requester*, ou seja, escreve, quando solicitado por um evento vindo de dentro da aplicação, um valor diretamente no endereço físico de saída de um dispositivo;
- *IO_Read*: é usado para ler valores de sensores. Ele lê constantemente ou por solicitação o valor de uma entrada física de dispositivos aos quais podem estar conectados elementos tais como botoeiras e relés. Assim, ele pode ser do tipo *responder* ou *requester*. Quando é do tipo *responder*, ao ser detectada uma mudança no valor na entrada física, ele é ativado e disponibiliza o valor lido para a aplicação.

Para serviços de comunicação unidirecionais, a norma especifica os SIFB´s "*publish"* e "*subscribe"*, descritos abaixo (e utilizados neste trabalho). Eles podem utilizar o protocolo UDP para transmissões do tipo *multicast*. Assim, eles podem enviar uma mesma mensagem simultaneamente de um para vários destinatários.

- *Publish*: é um SIFB do tipo *requester*, pois publica um dado na rede de comunicação, no endereço e porta especificados, somente se existir uma solicitação, representada por um evento de entrada;
- *Subscribe*: é um SIFB do tipo *responder*, pois está constantemente monitorando a rede de comunicação. Caso ele detecte, em qualquer momento, o recebimento de dados vindos de um dispositivo remoto, no endereço e porta especificados, ele é ativado e disponibiliza os dados recebidos para a aplicação.

A norma também especifica serviços de comunicação bidirecionais utilizando os SIFB´s "*client"* e "*server"* (IEC 61499, 2012).

A norma IEC 61499 não define SIFB´s específicos, pois cada sistema de controle pode ter diferentes funcionalidades e requisitos. No entanto, ela padroniza entradas (eventos REQ e RSP e dados SD´s) e saídas (eventos CNF e IND e dados RD´s) para os SIFB´s do tipo *requester* e *responder* (IEC 61499, 2012). Existe também uma variável (PARAMS) utilizada para endereçamentos e outra (STATUS) para informações de estado (IEC 61499, 2012).

2.2 Modelos de Referência

Para definir e modelar os sistemas de medição e controle de processos industriais, a norma IEC 61499 introduz uma arquitetura genérica. Essa arquitetura é composta dos modelos de referência apresentados a seguir (IEC 61499, 2012) (ZOITL; LEWIS, 2014) (ZOITL; STRASSER, 2015):

- *Modelo de dispositivo (Device model)*: consiste em um dispositivo físico (como, por exemplo, um CLP) que realiza uma malha de controle e atua sobre um determinado processo. Um dispositivo é o elemento que oferece a interface entre a rede de comunicação e o processo a ser controlado. Além do mais, ele pode conter um ou mais recursos nos quais serão executadas as aplicações;

- *Modelo de recurso (Resource model)*: pode ser entendido como uma unidade funcional que controla independentemente a operação de um dispositivo. Um recurso funciona como um "*container*" para as aplicações, oferecendo ferramentas e serviços de suporte para que elas possam ser executadas;

- *Modelo de sistema (System model)*: consiste em uma série de dispositivos conectados a uma rede de comunicação de dados através de segmentos ou ligações diretas. Um sistema relaciona a comunicação entre esses dispositivos e suas respectivas aplicações, como ilustrado na Figura 3;

- *Modelo de aplicação (Application model)*: é basicamente uma combinação de instâncias de FB´s usadas para resolver problemas particulares de medição, automação e controle. A relação entre o fluxo de dados e de eventos requeridos entre as diferentes instâncias de FB´s é estabelecida na aplicação. Além disso, uma aplicação pode ser dividida e distribuída entre múltiplos recursos, podendo estar contida em um ou mais dispositivos, como ilustrado na Figura 3. A Figura 4 mostra um exemplo de aplicação e seus fluxos.

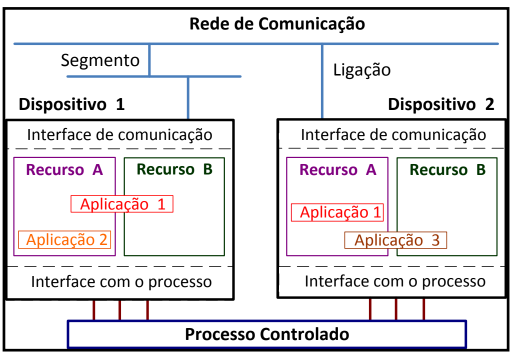


FIGURA 3 – Exemplo de *System model.*

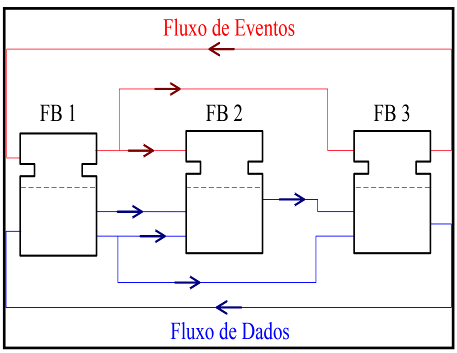


FIGURA 4 – Exemplo de *Application model.*

3 I ESTUDO DE CASO

O processo do estudo de caso consiste em um banco de cinco transformadores abaixadores trifásicos (T1 a T5) de potência nominal de 425 MVA e relação de transformação 500/220 kV conectados a transformadores reguladores trifásicos (R1 a R5) de mesma potência. Esses reguladores são equipados com OLTC´s, para manter o nível de tensão desejado nas barras de 220 kV. Cada regulador dispõe de 19 posições de *tap* com tempo de comutação médio de 5 segundos, causando uma variação em torno de 2,0 kV por posição. A Figura 5 ilustra a planta.

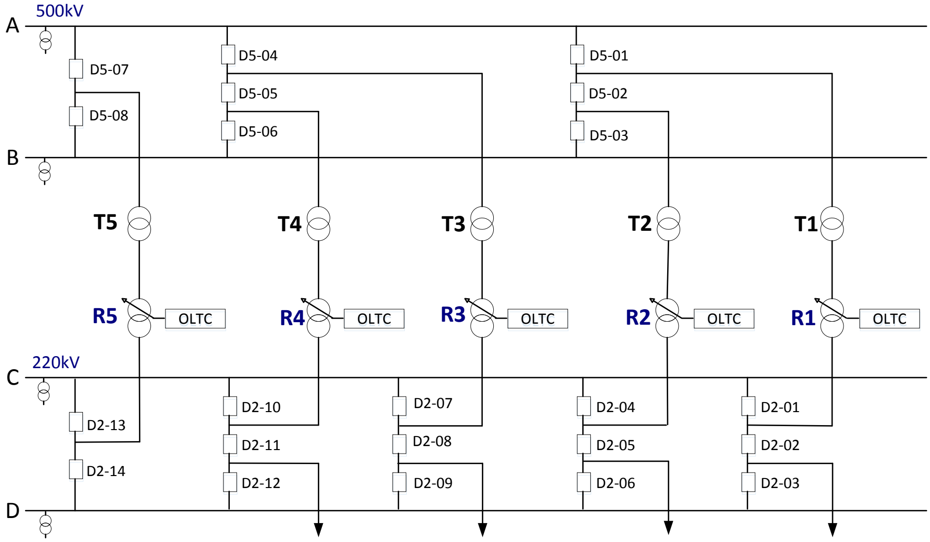


FIGURA 5 – Diagrama unifilar do estudo de caso.

3.1 Modos de Operação dos Transformadores Reguladores

Uma vez conectados ao sistema, os transformadores reguladores podem operar em diversos modos. Toda a lógica de controle dos transformadores envolve esses modos de operação.

Primeiramente, a localização do controle deve ser selecionada, por uma chave, em modo local ou remoto (ou ainda desligado). No modo local os comandos são dados diretamente nos OLTC´s. No modo remoto os comandos são emitidos a partir de uma Interface Humano-Máquina (IHM) da sala de controle.

Com relação ao paralelismo dos transformadores reguladores, cada um deles tem uma chave que os seleciona em: mestre, escravo ou individual. De acordo com a configuração dessas chaves o estado operativo pode ser definido como: paralelo (também chamado conjunto) ou individual[1].

O controle paralelo baseia-se na configuração que exista um OLTC selecionado como mestre e quatro como escravos. Esse modo de operação permite tanto o controle automático quanto o manual. No modo automático a posição do *tap* do mestre é alterada automaticamente através de uma malha de controle realimentada, usando uma tensão de referência e o valor medido da barra. No controle manual, o *tap* do mestre é posicionado pelo operador.

No controle individual, a posição do *tap* de cada regulador assim selecionado é controlada manualmente por um operador. Na solução adotada neste trabalho, para esse

1 Pode ser estabelecido um terceiro modo: indefinido (não está no modo paralelo e não estão todos em individual).

tipo de controle não é necessário que todos os cinco OLTC´s estejam selecionados em individual. Note que, o controle automático só é possível no modo paralelo.

Para comutação de *tap*s automática, três parâmetros que devem ser considerados (PARCIANELLO, 2016): a tensão de referência, a largura de faixa do erro e a temporização. A tensão de referência é a tensão desejada na saída do transformador regulador (barramento secundário). A largura de faixa é definida como uma porcentagem da tensão de referência que representa o intervalo de tensão permitido ao transformador operar. A temporização por sua vez, refere-se ao tempo intencional de espera para iniciar a comutação de *tap*s. Dessa maneira, é necessário um intervalo de tempo com o valor de tensão medido fora da largura de faixa, para que então se comande uma mudança de *tap*. A existência da largura de faixa e da temporização preserva a vida útil do comutador, evitando comutações desnecessárias causadas por pequenas oscilações de tensão. Neste trabalho a temporização é variável.

3.2 Comando e Acionamento do Comutador de *Tap*s

A Figura 6 apresenta o diagrama de comando e acionamento do motor trifásico para mudança de *taps*. O comando é realizado por uma série de relés, contatores e chaves fim de curso acionadas por came, e selecionado pela chave LDR (Local / Desligado / Remoto). Além disso, é possível notar os comandos por botoeiras (modo local) e pelo CLP (modo remoto). Note também que, o circuito de acionamento contém alguns elementos para proteção.

Os contatores K1, K2 e K3, são responsáveis por energizar o motor (K3 é usado para frenagem). As chaves acionadas por came S1 e S2 indicam o término de subida e descida de *tap*, respectivamente. A chave S3 indica que o motor está em rotação (inversor para manobra passo a passo). As chaves S6 e S7 indicam os fins de cursos do comutador de *taps*. A chave S8 é usada para bloqueio do comando, devido seleção para operação à manivela.

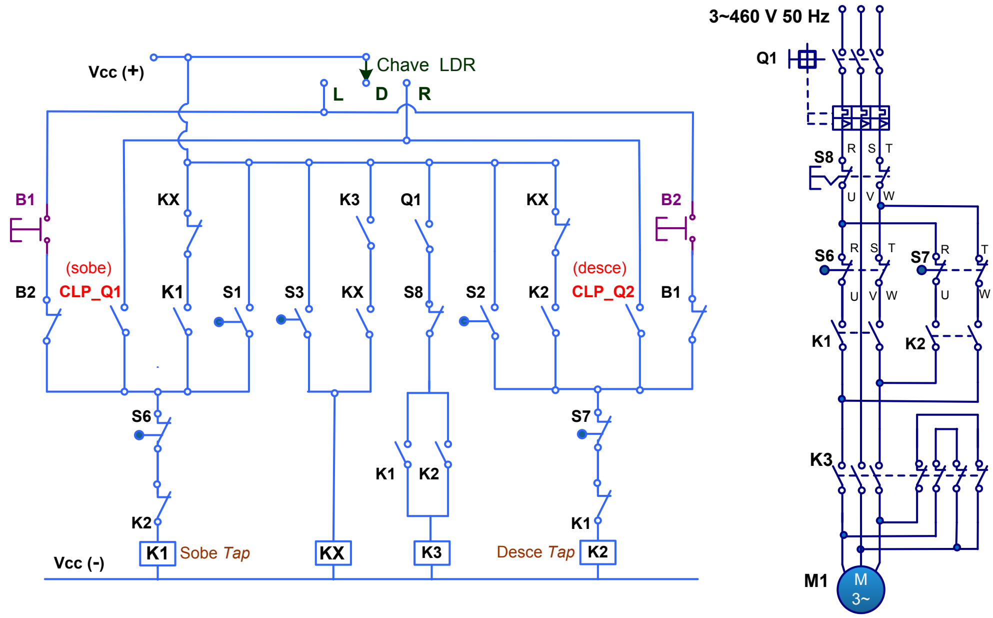


FIGURA 6 – Comando e acionamento do motor do comutador de *tap*s.

Note que, parte da lógica para o controle remoto está no circuito de comando, uma vez que de toda forma essa lógica é necessária para o controle local (usando as botoeiras B1 e B2, sem passar pelo CLP). Se desejado, toda a lógica para o controle remoto poderia estar nos CLP´s. De toda forma, a solução apresentada acima é mais segura.

3.3 Solução Proposta

É proposto o uso de seis pequenos CLP´s, um para cada transformador regulador mais um CLP para o controle de remoto. Os CLP´s são os "*Dispositivos*" representados na Figura 3. Além disso, existe um dispositivo usado como IHM. A transmissão de dados entre os CLP´s é feita através de uma rede local Ethernet gerenciada por um *switch*. A Figura 7 ilustra a arquitetura de *hardware* proposta.

Note que, a figura também inclui os IEDs (que também poderiam ser CLP´s) que fornecem os dados das posições dos disjuntores (e das chaves seccionadoras). Esses dados são utilizados no CLP remoto para saber se cada um dos transformadores reguladores está conectado ou não às barras (FB "ESTADO_TRAFOS", ver Figura 11).

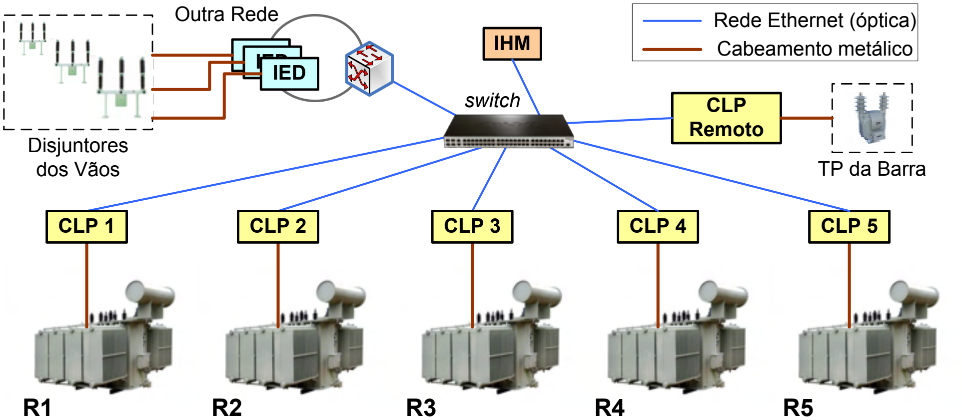


FIGURA 7 – Arquitetura de *hardware* da solução proposta.

A Figura 8 apresenta resumidamente a aplicação dos CLP´s dos transformadores reguladores (o CLP de cada regulador contém essa aplicação). As conexões em vermelho representam os fluxos de eventos e as conexões em azul representam os fluxos de dados. Note que, foi utilizada a notação "_X" para se referir ao regulador número "X", onde há necessidade de identificá-lo. Note também que, os endereços e parâmetros apresentados são simbólicos.

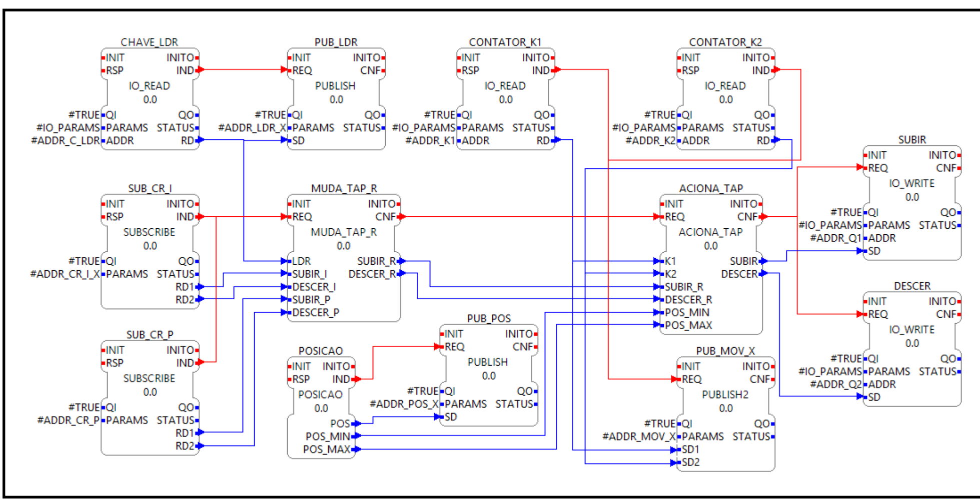


FIGURA 8 – Aplicação do CLP do transformador regulador.

Para simplificar, os FB´s "E_MERGE" e "E_SPLIT" (IEC 61499, 2012) não são apresentados nas figuras. Também para simplificação, as conexões dos eventos INIT e INITO não são mostradas, tampouco as ligações "*with construct*".

Basicamente a aplicação recebe os comandos para subir ou descer os *taps* provenientes do CLP remoto, tanto no modo paralelo (FB “SUB_CR_P”) como no modo individual (FB “SUB_CR_I”). Em seguida é verificada se a localização do controle é remota (FB “MUDA_TAP_R”) e é feito o acionamento do motor do OLTC para mudança de *tap* (FB “ACIONA_TAP”), de acordo com outros intertravamentos (os *taps* não estão movimentando e não estão nas posições limite). O estado da chave LDR e os estados dos contatores K1 e K2, que indicam que o *tap* está se movimentando, são transmitidos para o CLP remoto.

Note que, poderiam ter sido definidos eventos distintos para subir e descer *tap*. Além disso, alguns intertravamentos já realizados no CLP remoto (Figura 11) também são realizados aqui para aumentar a segurança.

Note também que, na aplicação existem alguns CFB´s. Para ter uma ideia da construção dos CFB´s, a Figura 9 apresenta, como exemplo, o CFB “POSICAO” (não estão representados todos os blocos “IO_READ”).

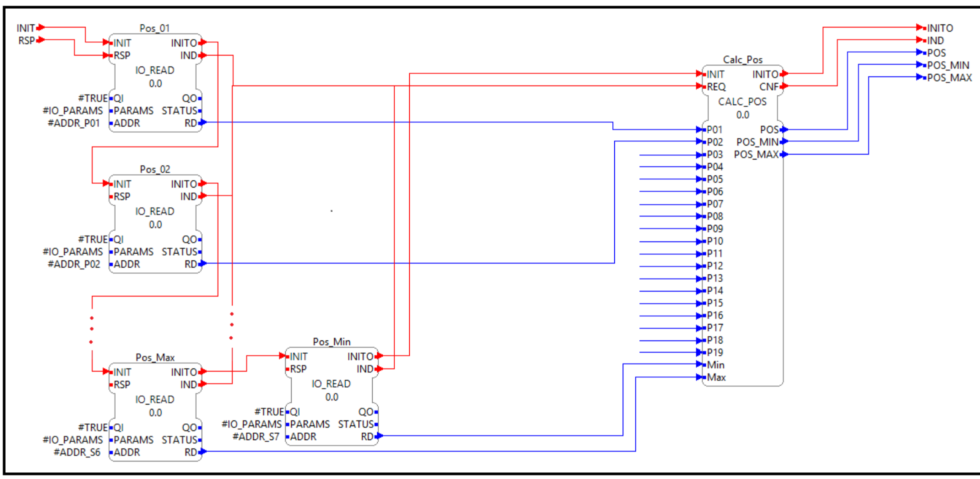


FIGURA 9 – CFB “POSICAO”.

O CFB “POSICAO” recebe os estados de todas as chaves indicadoras de posições do *tap*, bem como as indicações de posições mínima e máxima através das chaves S6 e S7 (FB´s “IO_READ”). Em seguida, o FB “CALC_POS” fornece a posição em que se encontra o *tap* (1 a 19) em uma variável do tipo *byte* (POS), além de identificar se o comutador está em seus limites máximo ou mínimo (variáveis booleanas POS_MIN e POS_MAX).

Conforme estabelecido na Seção 2, cada BFB tem algoritmos e um ECC. Como exemplo, a Figura 10 apresenta a interface, o ECC e o algoritmo principal (Alg_ACIONA) do BFB “ACIONA_TAP”, que gera os comandos que vão para o circuito de acionamento do motor do OLTC. Todos os algoritmos dos BFB´s deste trabalho foram desenvolvidos na linguagem *Structured Text* (ST), especificada na norma IEC 61131. Os comandos

para mudar o *tap*, fornecidos pelo FB “ACIONA_TAP” (variáveis SUBIR e DESCER), são enviados para as saídas do CLP através dos FB´s “IO_WRITE”, uma vez gerado o evento CNF do FB “ACIONA_TAP”.

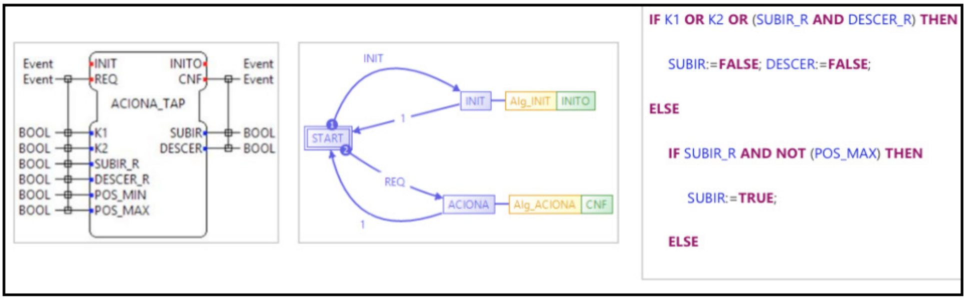


FIGURA 10 – Interface, ECC e Algoritmo “Alg_ACIONA” do BFB “ACIONA_TAP”.

A Figura 11 apresenta resumidamente a aplicação do CLP remoto referente ao controle paralelo (automático e manual). As aplicações de paralelismo e de comandos remotos individuais são realizadas nesse CLP.

Os três FB´s à esquerda fornecem os dados de estados e seleções dos CLP´s dos transformadores reguladores. O FB “MODO_PARALELO” determina se o sistema está no modo paralelo e, caso positivo, inicia os ciclos de controle usando o EFB “E_CYCLE”. O FB “MOVENDO_TRAFOS” é utilizado para verificar se todos os comutadores de *taps* estão parados. Em cada ciclo é verificada a tensão da barra (FB “V_MED”), calculado o erro (FB “CALC_ERRO”), verificado se o erro está fora da largura de faixa (FB “ZONA_MORTA”) e esperado o tempo atraso (FB “ATRASO”) calculado de acordo com o erro (FB “CALC_ATRASO”). Note que, diferente dos outros FB´s *IO_READ* utilizados nas aplicações, o FB “V_MED” é do tipo *requester*; assim, a aquisição de dados é feita periodicamente.

Uma vez determinado que devam ser gerados comandos para mudar os *taps* (FB “MESTRE”), eles são enviados para os CLP´s dos transformadores reguladores (FB “PUB_CR_P”). Note que, o FB “MESTRE” também é responsável por processar os comandos manuais no modo paralelo, provenientes do FB “MESTRE_MANUAL” (um CFB que recebe comandos da IHM).

As posições dos *taps* dos transformadores reguladores fornecidas pelo FB “POSICOES” poderiam ser utilizadas, por exemplo, para supervisão, confirmação de mudanças de *taps* ou para outros intertravamentos.

A Figura 12 apresenta resumidamente a aplicação do CLP remoto para controle individual (manual), para cada transformador regulador (diferenciados por “_X”).

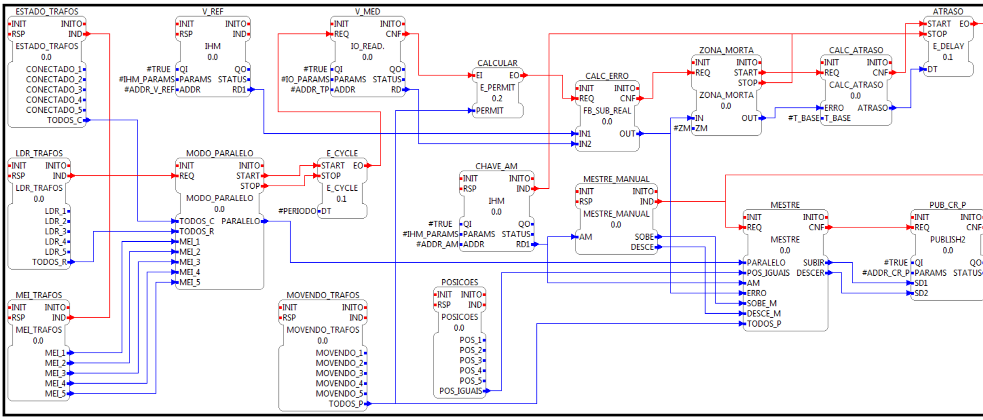


FIGURA 11 – Aplicação do CLP remoto (controle de paralelismo – automático e manual).

Os comandos para mudar individualmente o *tap* de cada regulador são recebidos da IHM (FB "TR_X_SD_M"). As condições de intertravamentos são verificadas (FB "VERIFICA_I_X") e os possíveis comandos são transmitidos para a aplicação do CLP do transformador regulador X (FB "PUB_CR_I_X"). Note que, essas lógicas poderiam ser realizadas nos próprios CLP´s dos reguladores (enviando alguns dados do CLP remoto para esses CLP´s).

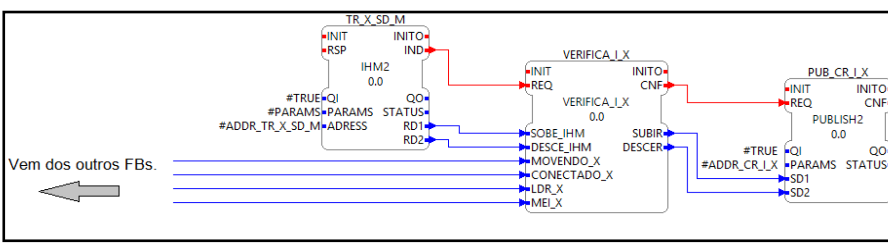


FIGURA 12 – Aplicação do CLP remoto (controle individual – manual).

Outras realizações são possíveis para resolver o problema. Por exemplo, o comando no modo paralelo poderia usar os mesmos FB´s "*publish*" e "*subscribe*" do comando no modo individual. Outro exemplo é o uso dos intertravamentos redundantes, para aumentar a segurança, que poderiam ser diferentes.

Para simplificação, alguns intertravamentos foram omitidos. As aplicações e os algoritmos também podem ser melhorados para incluir validação de dados e checagem de transmissões de mensagens entre CLP´s. Isso aumentaria a confiabilidade do sistema, e infelizmente também a complexidade.

Além disso, outras realizações são possíveis. Por exemplo, um (ou vários) CLP dos transformadores reguladores poderia hospedar a aplicação do CLP remoto, de modo que

o último não seria necessário. Realizações mais distribuídas também são possíveis. Foi considerado que cada aplicação está contida em um único recurso.

Alguns ajustes de ordem prática podem ser necessários para colocar o sistema de controle em operação. A simulação do sistema completo (controle e processo) também pode ajudar a fazer esses ajustes e encontrar qualquer erro. Otimizações também podem ser feitas com ajuda de ferramentas de simulação.

As aplicações e todos os FB´s foram desenhados usando a ferramenta 4DIAC-IDE (ECLIPSE, 2016). Trata-se de uma ferramenta *open-source* que permite o desenvolvimento de sistemas automação e controle em conformidade com a norma IEC 61499. Essa ferramenta permite a edição e criação de novos FB´s, incluindo os ECC´s e algoritmos.

4 I CONCLUSÕES

A solução proposta é funcionalmente completa. Vários FB´s foram criados para essa solução, com ECC´s e algoritmos específicos, mostrando o poder e a versatilidade da norma IEC 61499. Existem outras diversas formas de realizar o controle discutido no trabalho. Entretanto, a ideia principal é apresentar a norma IEC 61499 como ferramenta para a solução do tipo de controle abordado, mostrando um novo enfoque para o problema.

Além disso, outros métodos para realizar o paralelismo (como, por exemplo, o método da corrente circulante) podem ser realizados utilizando a norma IEC 61499. A mesma arquitetura de *hardware* proposta pode servir como base para outras soluções. A arquitetura proposta tem os recursos necessários para realizar qualquer controle distribuído, bastando criar os FB´s, ECC´s, algoritmos e eventos adequados. Em todos os casos, os CLP´s também devem ter as capacidades adequadas (entradas e saídas, etc.).

A solução proposta tem vantagens sobre as soluções usuais. Entre elas, pode ser citado o comportamento mais dinâmico devido à execução orientada a eventos. Essa abordagem permite criar uma sequência lógica para interação e execução dos FB´s. As aplicações de cada CLP dos transformadores reguladores são praticamente idênticas, facilitando a realização e a manutenção. Por fim, a solução proposta tem as vantagens geralmente encontradas em sistemas de automação digitais, como a flexibilidade e interface amigável, por exemplo.

As aplicações apresentadas (FB´s e algoritmos) podem ser refinadas e aperfeiçoadas para realização prática.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, E. B.; SIQUEIRA, A.; M.; NOGUEIRA, L. R. **Monitoramento do *tap* dos transformadores de consumidores de média tensão**. In: XIV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e X Encontro Latino Americano de Pós-Graduação. Universidade do Vale do Paraíba, p. 1-4, 2011.

DAMASO, E. G. P. **Plataforma Configurável para Gestão de Edifícios baseada em IEC 61499**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (EUP), Portugal, 2011.

HARLOW, J. H. **Electric Power Transformer Engineering**. 3rd Ed., CRC Press, 2012.

International Electrotechnical Commission – IEC. I**EC 61131-3, Programmable Controllers - Part 3: Programming languages**. 3rd Ed., Geneva, 2013.

International Electrotechnical Commission – IEC. **IEC 61499, Function Blocks**. 2nd Ed. Geneva, 2012.

PARCIANELLO, B. P. A. **Estudo e Aplicação da Norma IEC 61499 no Controle de Paralelismo de Transformadores Reguladores**. Orientador: MENDES, M. F. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Foz do Iguaçu, 2016.

RAMBO, M. V. H.; MARUYAMA, N.Y. **Arquitetura de um sistema digital para comutação em paralelo do *tap*e de bancos de transformadores de uma subestação compartilhada**. In: XXI SNPTEE Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Florianópolis, 2011.

VIEIRA, M. F. **Automatismo de Regulação de Tensão em Unidades Remota de Teleacção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores) - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

ECLIPSE; **4diac - The Open Source Environment for Distributed Industrial Automation and Control Systems**. Disponível em: https://eclipse.org/4diac/. Acesso em: 12 out. 2016.

ZOITL, A.; LEWIS, R. **Modeling Control Systems Using IEC 61499**. Londres: The Institution of Engineering and Technology, 2014.

ZOITL, A.; STRASSER, T. **Distributed Control Applications: Guidelines, Design Patterns, and Application Examples with the IEC 61499**. CRC Press, 2015.

CAPÍTULO 13

ANTENA DE MICROFITA COM *PATCH* EM ESPIRAL DE ARQUIMEDES *DUAL-BAND* EM 2,45 GHZ E 5,8 GHZ

Data de aceite: 01/03/2022
Data de submissão: 06/01/2022

Rafael Alex Vieira do Vale
Universidade Federal Rural do Semiárido
Mossoró – Rio Grande do Norte
http://lattes.cnpq.br/3662471548329369

Idalmir de Souza Queiroz Júnior
Universidade Federal Rural do Semiárido
Mossoró – Rio Grande do Norte
http://lattes.cnpq.br/8047604543096116

Humberto Dionísio de Andrade
Universidade Federal Rural do Semiárido
Mossoró – Rio Grande do Norte
http://lattes.cnpq.br/1253785596446469

RESUMO: Este trabalho apresenta o projeto de uma antena planar com *patch* em forma de espiral de Arquimedes retangular, para possíveis aplicações *dual-band,* em 2,45 GHz e 5,8 GHz. É mostrado o projeto da antena espiral e seus resultados adquiridos em simulação, por meio do software ANSYS HFSS 18.0®, bem como o resultado da perda de retorno medida, da antena proposta e construída, com a utilização de um analisador de redes vetoriais. O texto também denota uma análise dos diagramas de radiação, em cada frequência de ressonância próximas às frequências desejadas, dos planos E e H em formas 2D e a distribuição especial destes campos por diagramas 3D e a relação da razão axial em função da frequência, também obtidos com o software de simulação. Os diagramas, obtidos em simulação, informam o comportamento dos campos eletromagneticos, a diretividade e o ganho da antena na região de campo distante, de forma gráfica, permitindo a análise mais precisa das aplicações da antena projetada.

PALAVRAS-CHAVE: Antena Espiral; Antena de Microfita; Polarização.

ABSTRACT: This paper presents the designs of a planar antenna with a spiral patch of Archimedes spiral for 2.45 GHz and 5.8 GHz applications. The paper shows the design of the simulated antenna using ANSYS HFSS 18.0® presenting the comparison of the results between the simulated antenna and the same antenna built with the results obtained by a vector network analyzer. Another parameter analyzed in the spiral antenna is the axial ratio, simulated with the software, which will present the microstrip antenna polarization type about to the implantation of the spiral radiator. The text is also performed the simulated analysis of the shapes of the radiation diagrams for each resonance frequency range obtained in the software, showing the behavior of the E and H fields according to 2D radiation diagrams and the spatial distribution of these fields by 3D diagrams and axial ratio. These diagrams graphically show the antenna directivity of each resonant frequency.

KEYWORDS: Spiral Antenna, Microstrip Antenna, Polarization.

1 I INTRODUÇÃO

As antenas espirais são consideradas

antenas independentes ou quase independentes de frequência podendo operar em varias faixas de frequências [2]. Alguns tipos de antenas utilzam-se de formas geometricas, dentre as formas geométricas espieriais são comumente estudadas as antenas com forma de espiral de Arquimedes, antenas com espirais equiangulares e antenas com espirais logarítmicas.

A antena espiral de Arquimedes foi criada por E. M. Turner [11] e tornou-se uma das topologias espirais mais populares pela sua simplicidade com relação ao projeto e por apresentar equações bem definidas e mais simples que as outras topologias estudadas mantendo praticamente as mesmas características eletromagnéticas.

Esta topologia apresenta característica multibanda operando vem diferentes frequências de ressonância, o que possibilita diversas aplicações em diferentes regiões do espectro eletromagnético, podendo ser implantados para diferentes serviços, como em trânsito de informações sem fio em 2,45 e 5,8 GHz. Antenas espirais podem ser usadas para aumentar ganho com dimensões reduzidas [2]. As antenas espirais são boas alternativas a serem utilizadas por apresentarem também alta eficiência, polarização circular impedância característica estável e largura de banda ampla [11].

Aliando as caracteristicas das antenas de microfita [3] a forma de um *patch* espiral possibilita melhorias nos parâmetros das antenas de microfita mais simples, como as de *patch* retangular e circular, possibilitando o aumento da largura de banda aumentando a capacidade no envio e recepção de dados, polarização favorável para aplicações que requerem polarização específica como polarização circular ou elíptica, bem como a versatilidade na operação das frequências de ressonância.

2 | PROJETO DA ANTENA

Para determinação dos parâmetros de projeto a topologia usada para antena em espiral de Arquimedes de braço simples como mostrado na figura 1. A espiral de Arquimedes com braço simples pode ser visualisada como uma espiral com voltas equidistantes, apresentando somente uma espiral do centro para fora.



Fig. 1: Representação da estrutura da espiral de Arquimedes com braço simples.

A espiral de Arquimedes aumenta o raio de uniformemente em função do ângulo de rotação de acordo com (1) [8]:

$$r = r_0 + a\phi \quad (1)$$

Onde *r* é o raio da estrutura, r_0 o raio inicial de giração da espiral *a* é a taxa de crescimento da espiral e ϕ é o ângulo de rotação da espiral.

Para estas antenas espirais as frequências de ressonância podem ser determinadas de acordo com os raios maior (r_2) e menor da espiral (r_1), em relação à velocidade da luz *c,* de acordo com equações (2) e (3) [2], sendo possível determinar as distâncias requeridas do centro para as frequências de operação.

$$f_H = \frac{c}{2\pi r_1} \quad (2)$$

$$f_L = \frac{c}{2\pi r_2} \quad (3)$$

A antena espiral apresenta uma determinada largura *w* relativa ao braço da espiral e *s* como a separação entre as voltas da espiral. Considerando que *w* tenha a mesma dimensão de *s* esta dimensão pode ser calculada por (4) [9]:

$$w = s = \frac{(r_2 - r_1)}{4N} \quad (4)$$

Onde *N* é o numero de voltas da espiral. Desta forma pode-se projetar facilmente uma antena com *patch* em espiral de Arquimedes para as faixas de frequências escolhidas.

3 I PROPOSTA DE ANTENA DE MICROFITA EM ESPIRAL

A antena proposta neste artigo apresenta um *patch* em espiral de Arquimedes retangular, como mostrado na figura 2, com raio interno r_1 e raio externo r_2 calculados de acordo com (2) e (3) para as frequências de 2,45 GHz e 5,8 GHz bem como as larguras w e s de acordo com (4). A permissividade relativa do dielétrico foi de $\varepsilon_r = 4{,}4$ para o material FR4 com espessura $h = 1{,}4$ mm.

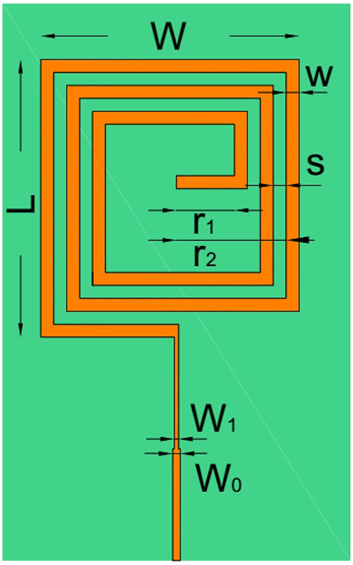


Fig. 2: Representação da estrutura da antena da antena espiral proposta.

Como visto na figura 2, a técnica de casamento de impedância utilizado para o arranjo foi a técnica de um transformador de impedância com um quarto de comprimento de onda [10][12].

4 I RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com as equações de (1) a (4) as dimensões do *patch* foram 8,23 mm para o raio interno (r_1), raio externo (r_2) de 17,62 mm e as larguras (s e w) de aproximadamente 1,86 mm. Desta forma a largura e comprimento totais para o irradiador foram W = 37,098 mm e L = 39,885 mm referidos a largura e o comprimento lateral da ultima volta da espiral retangular como visto na figura 2.

A linha de microfita com transformador em um quarto de comprimento de onda apresentou o comprimento da linha para um quarto de comprimento de onda foi de 15,142 mm a largura W_0 = 1,093 mm para 50 Ω, acordo com [4], na entrada de alimentação da

antena representando a largura maior da linha de transmissão e W_1 = 0,619 mm para o transformador de impedância com 45,73 Ω para transformar a impedância do *patch* de 41,825 Ω.

A antena foi simula com o ANSYS HFSS 18.0® obtendo-se a perda de retorno, os diagrama de radiação 2D e 3D para 2,45 GHz e 5,8 GHz e a densidade de corrente elétrica no irradiador.

Foi realizada a medição da antena com o analisador de redes vetoriais da *Agilent Technologies ®* na faixa de frequência analisada com a simulação entre 1 a 6 GHz como mostrado na figura 3.

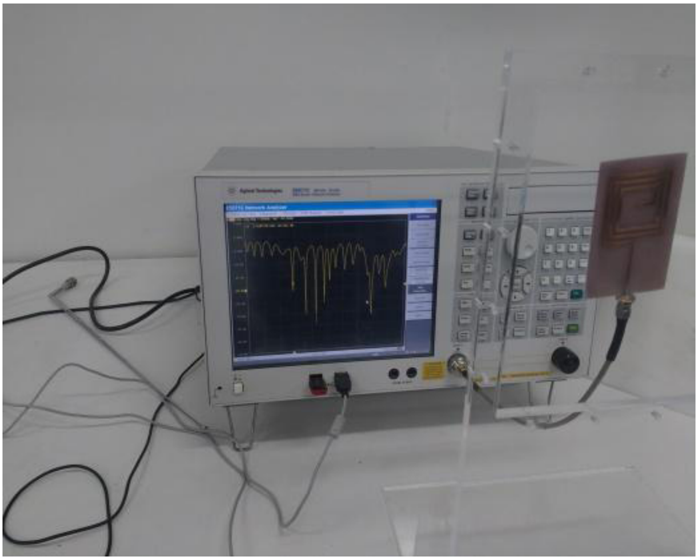


Fig. 3: Medição da antena espiral com o analisador de redes vetoriais.

O comparativo das perdas de retorno medido e simulado é mostrado na figura 4. Analisando o comparativo das perdas de retorno a antena simulada conseguiu atingir as frequências de ressonância projetadas em 2,45 e 5,8 GHz, respectivamente, além de diversas outras frequências abaixo de -10 dB denotando a característica multibanda.

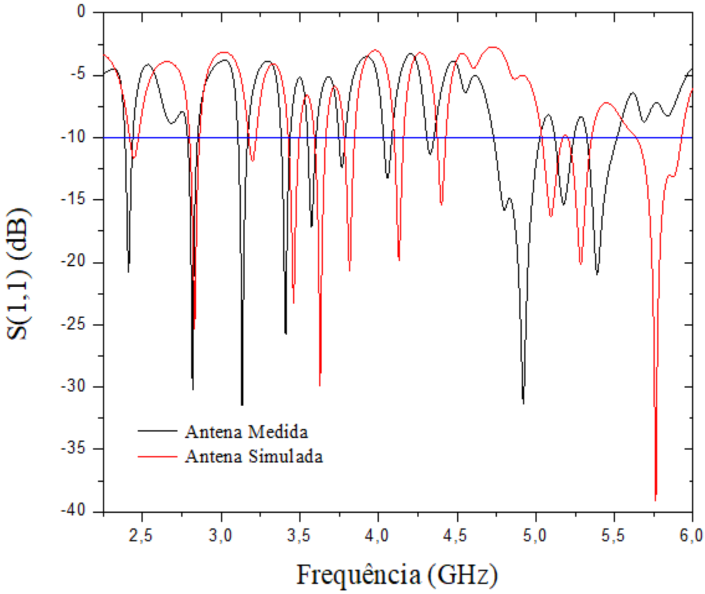


Fig. 4: Comparativo das perdas de retorno obtidas.

Com a figura 4 é possível observar que as perdas de retorno medida e simulada são próximas com relação às frequências de ressonância mesmo que mostrando os deslocamentos destas frequências.

Os dados obtidos de perdas de retorno, largura de banda e largura de banda percentual simulado e medido são mostrados segundo a tabela 1.

Frequência de Ressonância (GHz)	S(1,1) (dB)	BW (MHz)	BW (%)
2,45 (Simulado)	-11,6219	50	2,0408
2,41 (Medido)	-20,7872	45	1,8672
5,764 (simulado)	-39,1211	285	4,9528
5,39 (Medido)	-20,9969	185	3,4322

Tabela I - Comparativo Entre Antena Simulada e Medida.

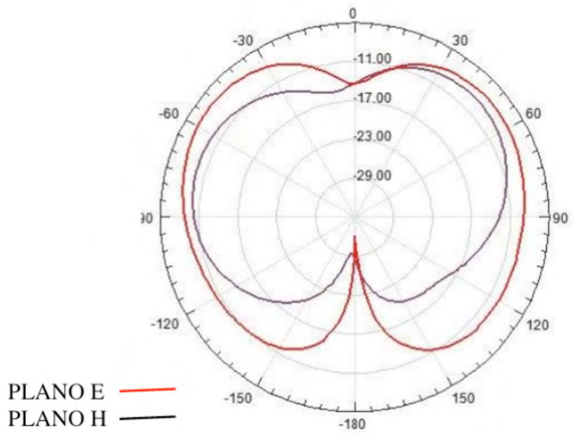
As larguras de banda tanto para a antena simulada quanto para a antena medida obtiveram valores percentuais, calculado de acordo com [6], inferiores a 5% com valores de larguras de bandas próximas. Esse nível de largura de banda é uma característica recorrente em antenas de microfita a largura de banda estreita com valores inferiores a 5% [1].

As frequências de ressonâncias obtidas podem ser utilizadas em sistemas *Wifi* em (2400 MHz – 2483 MHz) e faixas de sistemas *WLAN* em (5150 MHz – 5350 MHz) ou (5725

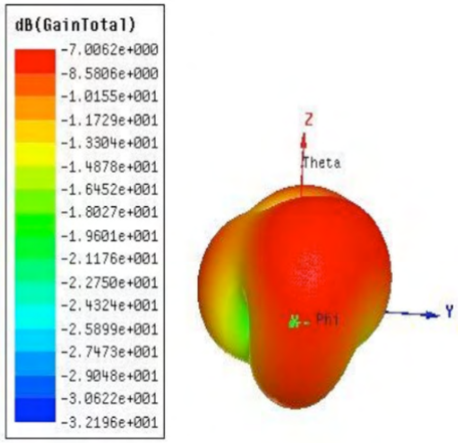
MHz – 5825 MHz) [5], estes serviços são relativos a sistema de comunicação sem fio.

Com os diagramas de radiação foi observado o comportamento eletromagnético com os planos E e H em diagrama 2D e o comportamento espacial com o diagrama 3D com *ANSYS HFSS® 18.0* para as frequências de ressonâncias projetadas. Os diagramas 2D e 3D mostram o comportamento da diretividade da antena de forma gráfica, realizando um uma análise mais precisa deste parâmetro.

As figuras 5 (a) e 5 (b) denotam os diagramas 2D e 3D da antena espiral para 2,45 GHz. Já nas figuras 6 (a) e 6 (b) mostram o comportamento eletromagnético do diagrama de radiação em 2D e 3D para a segunda frequência de ressonância em 5,764 GHz.



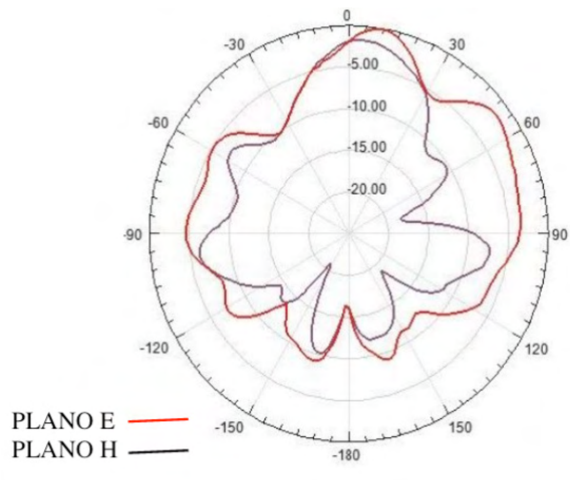
(a)



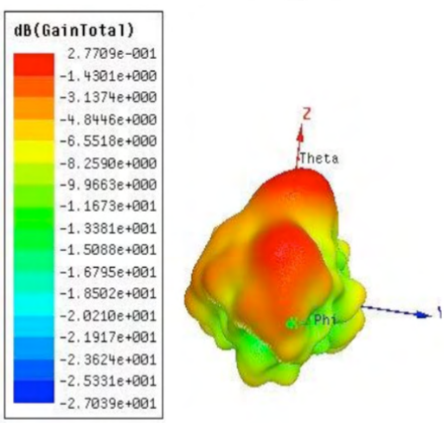
(b)

Fig. 5 (a) Diagrama de radiação 2D da antena espiral em 2,45 GHz. (b) Diagrama de radiação 3D da antena espiral em 2,45 GHz.

Para a frequência de 2,45 GHz, como mostrado nos diagrama de radiação 5(a) e 5(b), a antena apresentou uma característica próxima a uma antena omnidirecional mostrando que a radiação se propaga em quase todos os pontos, mas, com diferentes ganhos em diferentes pontos do espaço.



(a)



(b)

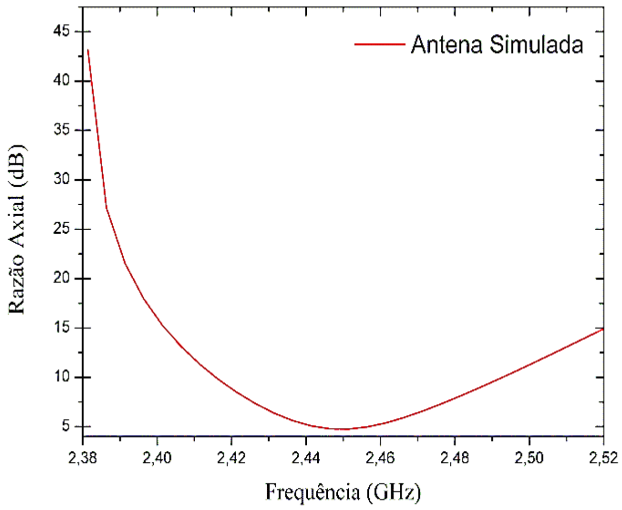
Fig. 6 (a) Diagrama de radiação 2D da antena espiral em 5,764 GHz. (b) Diagrama de radiação 3D da antena espiral em 5,764 GHz.

Para a segunda frequência projetada, os diagramas de radiação para 5,764 GHz mostram que o ganho total foi maior que em relação a frequência de 2,45 GHz, porém, o diagrama de radiação em 5,764 GHz apresentou degradação com relação ao padrão de radiação da frequência de 2,45 GHz. Outra característica observada foi o aumento da

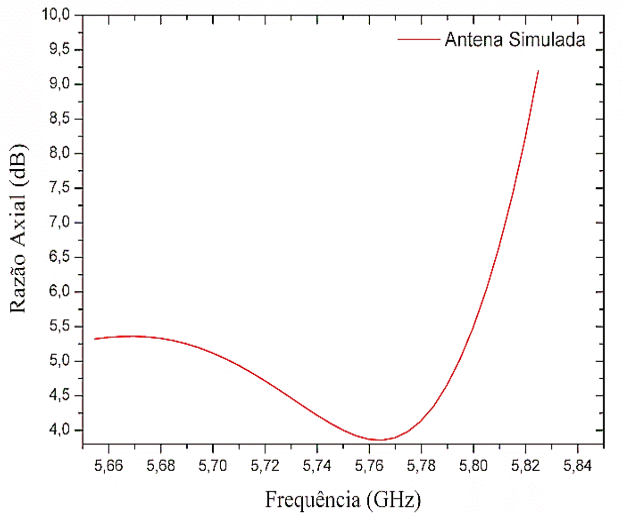
diretividade com relação aos diagramas anteriores.

Observando as figuras 5 (b) e 6.b o diagrama de radiação em 5,764 GHz se apresenta mais degradado, menor ganho e maior diretividade.

As razões axiais da antena para as faixas de frequências que se encontram as frequências desejadas são representadas nas figuras 7 (a) e 7 (b) para determinar o tipo de polarização da antena.



(a)



(b)

Fig. 7 (a) Razão axial em função da frequência para a faixa de frequência de 2,45 GHz. (b): Razão axial em função da frequência para a faixa de frequência de 5,764 GHz.

A polarização é dita elíptica quando a razão axial é maior que 1 e ganhos acima de 3 dB e menor que 6 dB [7]. A tabela 2 mostra os valores dos ganhos da razão axial para as frequências de ressonâncias encontradas na perda de retorno simulada.

Frequência de Ressonância (GHz)	Razão Axial (dB)
2,45 (Simulado)	4.681
5,764 (Simulado)	3.858

Tabela 2 - Razões Axiais Para cada Frequência de Ressonância.

De acordo com a tabela 2, pode-se observar que os ganhos relativos as razões axiais para as frequências de ressonâncias encontradas superaram o valor de 3 dB, permanecendo entre 3 e 6 dB, característico da polarização elíptica.

As antenas espirais podem ser empregadas em diversas aplicações devido, principalmente, a sua característica multibanda podendo ser interessante a sua utilização operar em diversas faixas de frequências usando somente uma antena.

Como visto em 2,45 GHz esta antena pode ser utilizada em sistemas que requerem um padrão de radiação omnidirecional apresentando radiação principal tanto no hemisfério direito como no hemisfério esquerdo como é apresentado na figura 5 (a). Já para a faixa de frequência em torno de 5,8 GHz o diagrama de radiação mostrou que esta mesma antena apresenta mudança na sua característica de radiação com a mudança da frequência, se mostrando mais diretiva em relação a frequência de ressonância de 2,45 GHz como é mostrado na figura 6 (a).

5 | CONCLUSÕES

Em aplicações que requerem a utilização de diversas faixas de frequências é possível a implementação de antenas espirais. Como denotado nos resultados estas antenas apresentam a característica de operar em diversas frequências de ressonâncias permitindo a possibilidade do uso em multibandas. As perdas de retorno mostram esta característica multibanda, principalmente, nas frequências próximas ao projetado em 2,45 e 5,8 GHz relativos as faixas de serviços *Wifi e WLAN*. Outra caraterística interessante é a polarização da antena a configuração da antena de Arquimedes projetada apresentou polarização elíptica de acordo com os dados das razões axiais em ambas as frequências de ressonância.

Para a faixa de frequência em torno de 2,45 GHz a antena espiral apresentou uma caracteristica similar ao de um padrão de radiação omnidirecional propaganda, em praticamente, todo o plano polar, diferente da frequência em torno de 5,8 GHz no qual a

radiação é propagante no eixo z+ mostrando diretividade maior que para a frequência de ressonância anterior.

As antenas com a topologia em espiral de Arquimedes apresentam um projeto simples e de fácil implantação computacional e prática. A simplicidade do projeto, em antenas planares, aliada a boa característica multibanda pode ser alternativa para diversas aplicações em seleção e uso de várias faixas de frequências e em estruturas simples e compactas para transmissão de dados sem fio.

REFERÊNCIAS

[1] ANDRADE. Humberto Dionísio de. **Desenvolvimento de um Ressoador Retangular de Fenda com Multíplas Camadas de Substrato e com Utilização de Material PBG para Sistemas de Comunicação Sem Fio"** Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia. Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétria e Computação, Natal, Setembro ,2013, pp. 25-26

[2] ASAD, M.; GILANI, J.; KHALID, A.; and IQBAL, M. S. **Optimizing Q Factor of Square Spiral Antenna**. IEEE. Second Pacific-Asia Conference on Circuits, Communications and System (PACCS), 2010, pp. 227-230. DOI 10.1109/PACCS.2010.5626808

[3] BALANIS. C. A. **Antenna Theory Analysis and Design**. Third Edition, Jonh Wiley & Sons, Inc. New Jersey, 2005, pp. 811-876.

[4] BARTHIA, P.; GARG, R.; BAHL, I. and ITTIPIBOON, A. **Microstrip Antenna Design Handbook**. Boston, London, Artech House. Inc. 2001. p.25

[5] BEIJI, P. and NOURINIA, J. **A Novel Printed Antenna with Square Spiral Structure for WIMAX and WLAN Applications**. ACES JOURNAL, Vol. 30, nº 12, December, 2015, pp. 1329-1333. CORPUS ID: 59451923

[6] GHAVAMI, M. et al. **Ultra Wide Band Signals and Systems in Communication Enginering**. West Sussex: Jonh Wiley, 2004, p. 278. DOI 10.1002 / 9780470060490

[7] KUMAR, G; RAY, K.P. **Broadband Microstrip Antennas**. Boston/London: Artech House, 2003, pp. 309 -311

[8] MILLIGAN, T. A. **Modern Antenna Design**. Second Edition. Jonh Wiley & Sons, Inc, New Jersey, 2005, pp. 521-573

[9] SEONG, Cheol Min; PARK, Dong Chul**. Design of Cavity-Backed Spiral Antennas.** IEEE. 5th Global Symposium on Millimeter Waves (GSMM), Maio. 2012, pp. 186-190. DOI 10.1109/GSMM.2012.6314032.

[10] SINGH, M,; BASU, A.; and KOUL, S. K. **Circular Patch Antenna with Quarter Wave Transformer Feed for Wireless Communication.** IEEE. India Conference, 2006 Annual IEEE, New Delhi, 2006, pp. 1-5. DOI 10.1109 / INDCON.2006.302847

[11] VINAYAGAMOORTHY, K. **Design and Implementation of Wideband Baluns for Archimedean Spiral Antennas.** Science and Engineering Faculty, Queensland University of Technology, Brisbane - Australia, August, 2011, pp. 19-32

[12] WENTWORTH, S. M. **Eletromagnetismo Aplicado.** Bookman, Porto Alegre, 2009, pp. 442-557

CAPÍTULO 14

REDUÇÃO DE CAPEX E OPEX COM A GESTÃO INTEGRADA DO INVENTÁRIO DE TELECOMUNICAÇÕES

Data de aceite: 01/03/2022

Eduardo Camargo Langrafe
Engenheiro de Sistemas, MBA (FGV), trabalha na Netcon Consultoria e Engenharia, no Rio de Janeiro, e na Netcon LLC, em Miami, Flórida, USA, como *Chief Operations Officer*

Cristiano Henrique Ferraz
Engenheiro de telecomunicações (UFF) e trabalha na Netcon Consultoria e Engenharia, no Rio de Janeiro, e na Netcon LLC, em Miami, Flórida, USA, como *Chief Technology Officer*

Eduardo Vasconcelos Lopes Ferreira
Engenheiro Eletricista, MSc (Londres), trabalha na Netcon Ltda, em Recife e no Rio de janeiro, e ocupa a posição de *Chief Executive Officer* na Netcon LLC, em Miami, Flórida, USA

RESUMO: Ao longo do tempo, as empresas do setor de energia elétrica vêm construindo suas redes de telecomunicações com objetivo de suportar a operação dos sistemas elétricos, prover a comunicação corporativa e, em alguns casos, fornecer serviços de telecomunicações ao mercado. Essas redes são constituídas por equipamentos de diferentes tecnologias, desde tradicionais como SONET/SDH/PDH às mais recentes como Bridged Ethernet/Carrier Ethernet/ MPLS, fornecidos por diferentes fabricantes e parceiros tecnológicos. A infraestrutura passiva da rede também apresenta esta mesma característica. Os custos relacionados à operação e manutenção deste ambiente plural de telecomunicações são altos, em decorrência do elevado número de plataformas independentes a serem geridas e o uso de ferramentas não adequadas que agregam mais dificuldades para realização das atividades.

PALAVRAS-CHAVE: Redução, custos, capex, opex, inventário, gis, etom, gestão, lógico, conexões, redes, telecomunicações.

CAPEX AND OPEX REDUCTION WITH THE INTEGRATED MANAGEMENT OF THE TELECOMMUNICATIONS INVENTORY

ABSTRACT: Over time, companies in the electric power sector have been building their telecommunication networks in order to support the operation of the electric systems, provide corporate communication and, in some cases, supply telecommunications services to the market. These networks consist of equipment of different technologies, from traditional ones like SONET/ SDH/PDH to the most recent ones like Bridged Ethernet/Carrier Ethernet/MPLS, supplied by different manufacturers and technology partners. The passive network infrastructure also presents this same characteristic. The costs related to the operation and maintenance of this plural telecommunications environment are high, due to the large number of independent platforms to be managed and the use of inadequate tools that add more difficulties to the performance of the activities.

KEYWORDS: Reduction, cost, capex, opex, inventory, gis, etom, management, logical, connections, telecommunications, network.

1 I INTRODUÇÃO

O setor elétrico nacional trabalha com margens sempre muito ajustadas e dispõe de recursos limitados para investimentos em ampliação e modernização destes sistemas. Portanto, é muito importante maximizar os retornos obtidos e minimizar perdas a cada investimento realizado.

Neste sentido, nosso trabalho tem por objetivo discutir os fundamentos e apresentar casos práticos de empresas elétricas que obtiveram reduções significativas de OPEX e CAPEX, através da gestão integrada e centralizada do inventário de telecomunicações. Serão apresentados e quantificados os benefícios e resultados alcançados para realização das atividades descritas adiante.

2 I VANTAGENS DA GESTÃO INTEGRADA DO INVENTÁRIO DE TELECOMUNICAÇÕES

Expansão de rede:

- Até 20% de redução de necessidade de novas construções pela melhor utilização dos recursos existentes.
- Até 10% de redução de custo de capital com construção da infraestrutura em menor tempo.

Planejamento de rede:

- Até 30% de redução no tempo de projeto pelo conhecimento prévio das disponibilidades da rede.
- Até 40% de aumento do ROI pela expansão da rede focada em áreas de alta demanda/receita.
- Até 40% mais precisão no planejamento de introdução de novas tecnologias.
- Acessibilidade aos dados reduz custos do Departamento de Planejamento em até 30%.

Engenharia de rede:

- Até 40% de aumento de produtividade, permitindo análise das opções de atualização.
- Projetos melhores e mais rentáveis. Redução das despesas de capital em novas construções em até 20%.
- Redução de Custo de Pessoal em até 30% pela redução do nível de especialização requerido dos projetistas.
- Diversidade geográfica de rotas de cabos/dutos para caminhos de circuitos protegidos com até 20% de diferencial de preço.

Construção da Rede:

- Até 25% de Redução no Tempo de Construção.
- Até 70% menos visitas aos sites.
- Até 80% menos trabalho de reparo e menos conflitos ou erros de projeto.

Execução dos Serviços:

- Até 50% de economia no tempo de provisionamento, incluindo a capacidade de provisão de atualizações de rede planejadas.
- Até 70% menos risco de não prestação de serviço, devido a menos conflitos de disponibilidade da rede.
- Até 80% menos erros de entrada de dados.

Garantia do Serviço:

- Resposta rápida a Alarmes de Rede para localizar com precisão o equipamento em falha e reduzir tempo de inatividade em até 25%.

Manutenção em Campo:

- Localização rápida de quebras de fibra e falhas de equipamento reduzem o tempo de reparo em até 40%.
- Resposta do Call Center:
- Melhora na informação ao Cliente e informação proativa de falhas.

Gestão de Ativos:

- Economia Fiscal pelo melhor conhecimento do status do Ativo, localização e depreciação.
- Acesso imediato para gerar informação estatística individual relativa a todos os componentes de rede e os custos envolvidos.
- Conhecimento preciso dos custos envolvidos reduz o risco de sobre ou subfaturamento.

2.1 O problema do inventário físico e lógico

A rede de telecomunicações de uma empresa elétrica torna-se cada vez mais importante, mais flexível, mais diversa e mais abrangente por alguns motivos principais:

a. A introdução do conceito de Redes Elétricas Inteligentes (*Smart Grids*), aliado à crescente automação do sistema, aumenta o tráfego de dados exponencialmente e exige uma cobertura e abrangência muito mais amplas das redes; as modificações, expansões e reconfigurações da rede já não são eventuais, e sim constantes.

b. A automação das subestações, com a necessidade de visualização remota das chaves seccionadoras, e a maior necessidade de segurança patrimonial exigem um uso cada vez maior do vídeo, o que tem um impacto importante sobre a banda requerida e sobre a qualidade de serviço dos sistemas de telecomunicações.

c. Além das mudanças no panorama interno, com aplicações operativas e corporativas que exigem cada vez maior rapidez de atendimento e flexibilidade, algumas empresas começam a atender também a clientes externos, utilizando os recursos de telecomunicações, onde os elementos ativos podem ser os existentes ou novos, e os cabos ópticos e infraestrutura civil geralmente são os já existentes.

De uma situação essencialmente estática, as redes de telecomunicações das empresas do setor elétrico passam a ser entidades dinâmicas, mutáveis e complexas. O controle tradicional do inventário de recursos ativos e passivos, físicos e lógicos, através de mapas e planilhas manuais dificulta o acesso tanto dos operadores quanto dos diversos sistemas de gerência às informações sobre os recursos de rede. Cada novo projeto de atendimento precisa buscar informações em sistemas de documentação que nem sempre são atualizados com a rapidez necessária e de forma integral para refletir todas as ações realizadas.

Nesse novo ambiente, o controle estrito dos recursos técnicos e lógicos das redes é essencial. Sem esse controle estrito, os projetos de modificações e expansões da rede e de atendimento aos clientes (internos ou externos) tornam-se laboriosos e demorados, o que é incompatível com o dinamismo exigido pelas novas utilizações e aplicações. Os custos de operação tornam-se muito elevados devido ao uso intenso de mão de obra para poder conhecer com exatidão o estado atual dos recursos de rede.

Para controlar efetivamente a configuração da rede e a disponibilidade e o grau de utilização dos recursos é necessário contar com ferramentas e processos que tornem essas tarefas mais eficientes. Toda a engenharia de rede, todo o provisionamento de serviços e de capacidade, todo o controle da planta dependem de uma imagem real, constantemente atualizada e dinâmica da rede. Essa imagem fiel e atual torna-se a base para a operação da rede.

Com um sistema e processos do tipo descrito, o atendimento a novas demandas é facilitado, e as mudanças e expansões podem ser simuladas, planejadas, projetadas, documentadas e, finalmente, incorporadas com rapidez, em um fluxo direto de trabalho.

2.2 O sistema de inventário

A experiência demonstra que um sistema de inventário para o novo ambiente precisa reunir algumas características importantes. Entre elas estão:

a. Possuir uma biblioteca abrangente para representar todos os elementos de rede passivos encontrados nas situações reais, incluindo todos os detalhes de elementos componentes de redes passivas (externas e internas, metálicas, ópticas e sem fio), todos os elementos ativos e todos os componentes de obra civil encontrados.

b. Facilidades para o próprio usuário poder criar e acrescentar novos elementos a essa biblioteca.

c. Uma biblioteca dos elementos ativos encontrados nos casos reais, incluindo

não apenas as características técnicas e configurações lógicas, mas também representações gráficas detalhadas dos equipamentos.

d. Ferramentas gráficas para poder tornar automáticos os processos de planejamento, projeto e desenho de expansões da rede passiva, planos de salas de equipamentos, *bayfaces* de bastidores, etc. sem a necessidade de utilizar ferramentas externas e desenhistas especializados em CAD (Computer Aided Design).

e. Capacidade de intercambiar dados com outros sistemas utilizando interfaces informatizadas – tanto adaptadores de dados já prontos para os sistemas comuns pré-existentes quanto APIs (Application Program Interfaces) que permitam criar novas interfaces com facilidade.

f. Ferramentas de conversão de dados e de modelos de informação para simplificar a migração de dados de inventário já existentes (em planilhas e em desenhos) em um único passo.

g. Ferramentas de planejamento de redes que facilitem e automatizem o desenho de novas redes a partir de uma interface gráfica simples, que gerem listas detalhadas de materiais e cálculo de custos e que gerem a documentação que permitirá incorporar as novas redes diretamente ao sistema de inventário à medida que forem instaladas.

h. Ferramentas de acompanhamento de projetos, que permitam ao gerente de projetos acompanhar as etapas de implantação e incorporar os trechos implantados.

i. Ser simples de utilizar e intuitivo.

2.3 O desenvolvimento do sistema de inventário

Desde a criação original de um sistema desse tipo, cada nova aplicação prática do sistema tem gerado novas informações utilizadas para retroalimentar os desenvolvedores do sistema. Os aperfeiçoamentos são incorporados ao sistema ao longo de anos de desenvolvimento. O resultado desse processo contínuo de aperfeiçoamento foi a criação de um sistema abrangente desde seu conceito básico, que incorpora toda a experiência prática em diversos ambientes operacionais ao núcleo do sistema. Desta maneira, o sistema pode entrar em produção imediatamente ao ser instalado, sem que sejam necessários desenvolvimentos especiais, customizações e adaptações demorados e custosos. fazendo com que a solução prática para o problema de gestão de inventário da rede possa entrar em produção imediatamente após sua instalação inicial. A barreira inicial de implementação e uso de novos sistemas é eliminada, pois o sistema amadurecido passa a ser utilizado imediatamente a partir de sua instalação original.

2.4 Exemplos de aplicação

2.4.1 Mapeamento de rede externa

Utilizado para o mapeamento e documentação da rede externa, o sistema permite

documentar todo os detalhes da rede e todas as conexões físicas.

O sistema se baseia em uma representação de locais ("nós") e de conexões entre esse locais (chamadas "cabos"). A representação da rede começa com uma definição da estrutura de dados que integrarão a imagem da rede em uma base de dados central ao sistema. O processo é iniciado com a documentação dos locais georreferenciados, e a definição em árvores hierárquicas de todos os elementos de rede que se encontram em cada local. Por exemplo, um local pode ser desde uma caixa de emenda até um poste, uma casa de relés ou uma grande sala de equipamentos.

Todos os elementos componentes da rede são introduzidos na base de dados com todos os seus detalhes técnicos. Por exemplo, um DIO (distribuidor de interfaces ópticas) ou uma manga de emendas de fibras ópticas podem ser representados com o número exato de conexões suportadas. Um cabo pode ser representado em toda a sua estrutura (cabo, tubetes, fibras individuais). As informações relativas a cada elemento documentado na base de dados contêm todos os dados requeridos (tipo, modelo, características técnicas e outras informações).

A partir dessa documentação básica de elementos e sua localização, o encadeamento lógico possível entre as partes é determinado pela modelagem original dos elementos existentes na biblioteca de elementos. Essa modelagem também inclui a relação lógica entre os elementos e sua descrição física. Todas as conexões são descritas com precisão. No caso de redes ópticas, por exemplo, todo plano de emendas de cada caixa, todas as conexões nos distribuidores, todas as conexões com *patch cables* são documentadas. A rede descrita no sistema corresponde exatamente à rede que está em operação, com todas suas conexões.

Como já comentado, o sistema permite uma automatização do planejamento. Quando se projeta uma rede nova utilizando as ferramentas de projeto do sistema, o projeto gera automaticamente a documentação da rede, a qual será usada posteriormente durante a operação real do sistema.

Caso o sistema a documentar já esteja instalado, a documentação atual – planilhas, desenhos em CAD, documentação de georreferenciamento, etc. – são importados para o sistema (utilizando ferramentas automáticas) e ingressados na base de dados com o modelo de informação definido na implantação do sistema.

Como exemplo, as Figuras 1 e 2 abaixo ilustram alguns aspectos da documentação de uma rede óptica para atendimento a câmeras de perímetro em uma usina fotovoltaica.

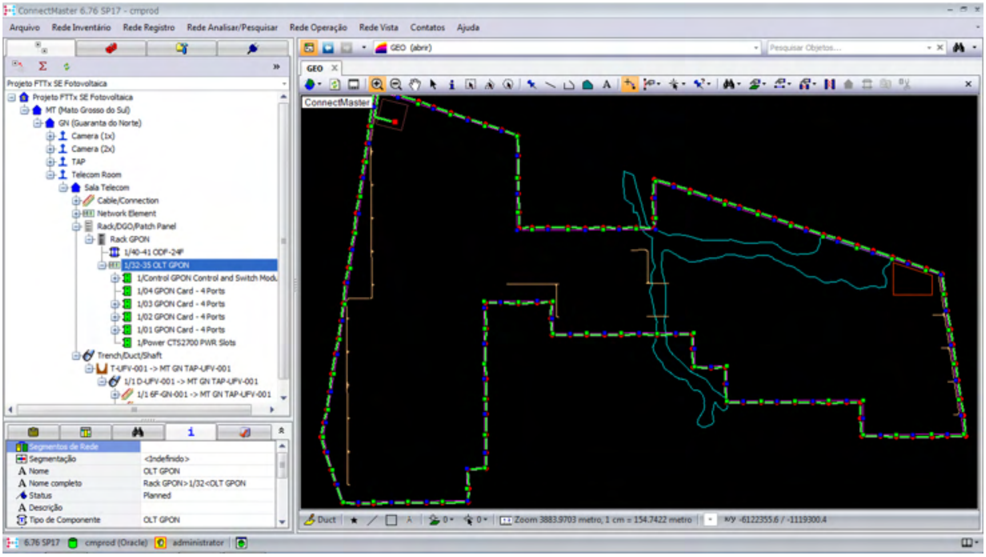


FIGURA 1 – Rede perimetral de uma usina fotovoltaica para atendimento à vigilância por vídeo.

No caso ilustrado na Figura 1, trata-se de uma rede óptica passiva ponto a multiponto utilizado a tecnologia GPON. Os pontos representam locais georreferenciados. No lado esquerdo da tela, a árvore de navegação indica os elementos existentes em cada site. O desenho esquemático da rede que aparece à direita na tela é gerado automaticamente pelo sistema. Como o desenho não é estático, e sim deriva de relações entre os dados na base de dados, a navegação pela rede pode ser feita tanto pela árvore do explorador de arquivos quanto pelo gráfico – o acesso aos dados de cada elemento pode ser feito a partir de sua representação gráfica ou de seu nome na árvore do explorador.

A Figura 2 traz um detalhe maior do desenho em visão georreferenciada.

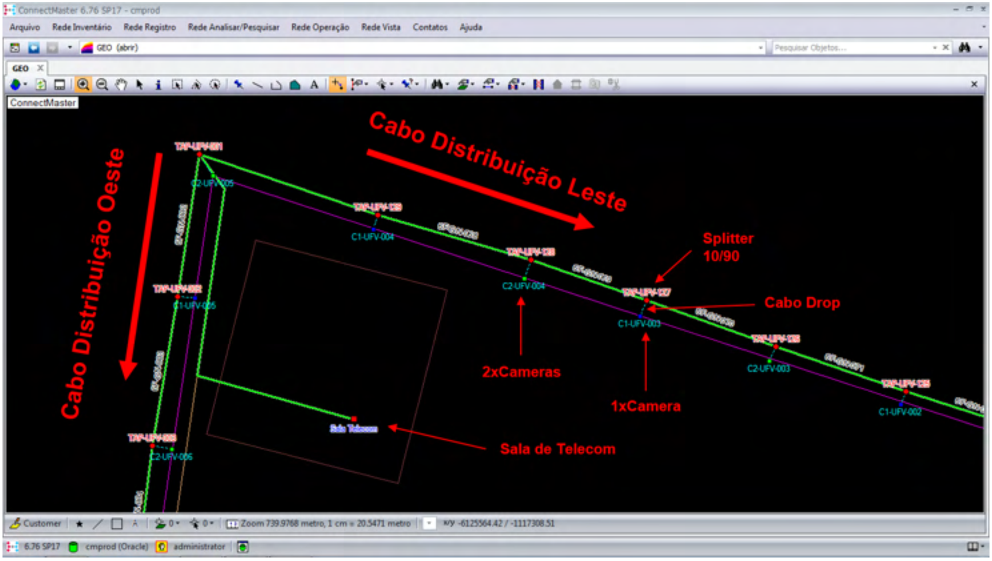


FIGURA 2 – Detalhe da rede óptica da Figura 1.

2.4.2 Mapeamento de rede em ambientes restritos

Utilizado para o mapeamento e documentação da rede interna, o sistema também permite documentar todo os detalhes da rede e todas as conexões físicas.

As Figuras 3 e 4 ilustram o caso de um aeroporto.



FIGURA 3 – Visão geral da rede em um aeroporto, sobreposta a uma imagem de satélite.

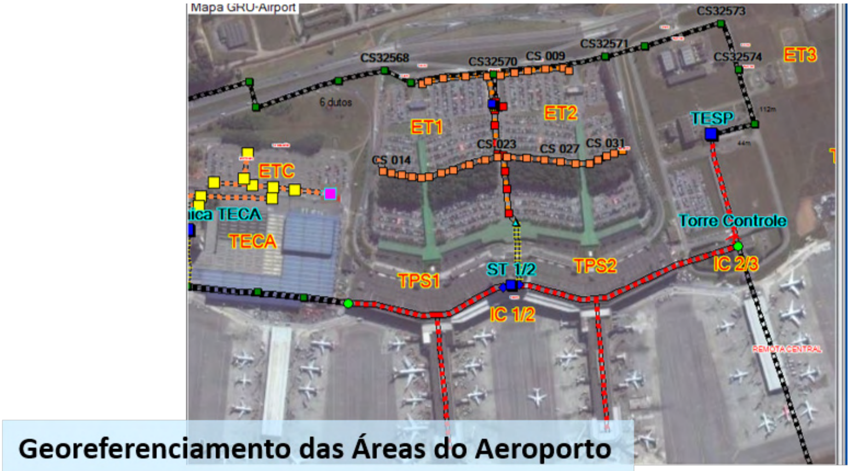


FIGURA 4 – Visão georreferenciada rede do mesmo aeroporto.

2.4.3 *Exemplo de um plano de emendas*

Como comentado, o sistema permite documentar todas as conexões entre os elementos contidos na base de dados, através de relações lógicas que fazem parte das propriedades de cada elemento de rede contido na base de dados. Ou seja, a modelagem de cada objeto contido na biblioteca indica as possibilidades de conexão do mesmo. O projetista ou o documentador ou operador de rede ingressam as conexões entre os elementos, criando assim a documentação visualizada na Figura 5 contendo a representação do plano de emendas em uma manga de emendas ópticas é ilustrado. Quando feita na etapa de projeto, a documentação gerada pode ser fornecida aos instaladores para que executem em campo as conexões projetadas.

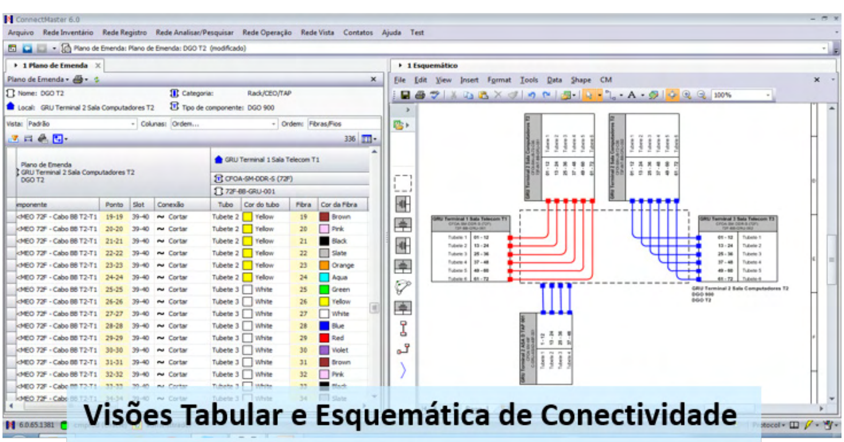


FIGURA 5 – Plano de conectividade em visões tabular e gráfica.

Todos os projetos feitos no sistema ficam armazenados em espera. quando executados, tornam-se efetivos. Porém, desde a etapa de projeto a capacidade ocupada pelo projeto tem sua utilização futura indicada e seu uso restrito ao projeto em questão, o que evita conflitos com consultas que redundariam em uma utilização em outros projetos. Essa é uma das vantagens de ter a documentação completa em um repositório central.

Naturalmente, os operadores da rede podem consultar a disponibilidade de recursos de maneira muito simples. Por exemplo, com a rede já documentada, uma consulta para o atendimento de certo local pode ser gerada pelo usuário, e, caso ele tenha as prerrogativas requeridas, a capacidade necessária pode ser reservada (com todo o detalhe das conexões ao longo do caminho).

2.4.4 Cálculos ópticos de projeto

A ferramenta de projeto pode ser ilustrada aqui mediante um exemplo. A Figura 6 ilustra o cálculo do balanço de potência em uma conexão em uma rede óptica P2MP (ponto a multiponto) suportando GPON. Naturalmente, os mesmos cálculos aplicam-se também a conexões ponto a ponto. Os cálculos são feitos a partir dos dados sobre as fibras e demais elementos passivos armazenados na biblioteca.



FIGURA 6 – Exemplo de uma conexão óptica P2MP com *splitters* ao longo da rota.

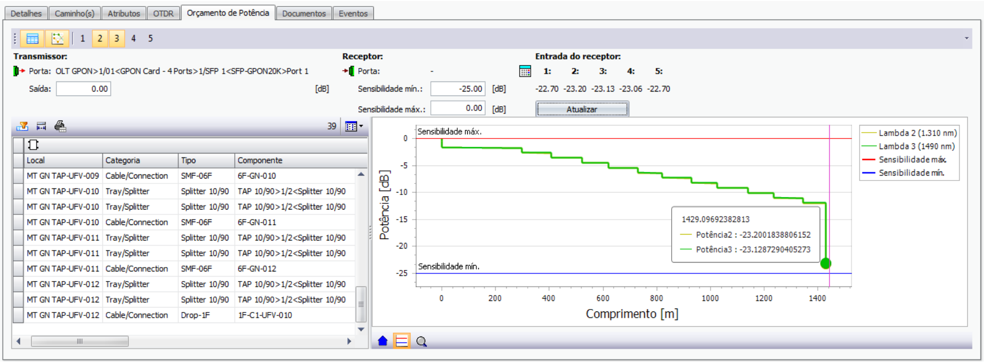


FIGURA 7 – Visões tabular e gráfica de uma conexão óptica P2MP com *splitters* ao longo da rota.

2.4.5 Conexões lógicas

Foge ao escopo deste Informe Técnico detalhar toda a capacidade do sistema de inventário e documentação descrito. Entretanto, o plano de conectividade fica descrito nos itens anteriores também existe para as conexões lógicas. Seja qual for a tecnologia – redes determinísticas (SDH, PDH, OTN) ou estatísticas (MPLS, PB, VPNs) – , não apenas os elementos de rede ativos, mas também as conexões lógicas podem ser documentadas de maneira análoga às conexões físicas.

Dessa maneira, o operador pode fazer consultas sobre uma possibilidade de conexão lógica entre dois pontos da rede tendo em conta a capacidade remanescente de cada interface de elemento de rede conectada. A capacidade tomada pela nova conexão projetada também será reservada de forma análoga aos projetos envolvendo conexões físicas.

Embora o sistema não possua internamente um aplicativo de provisionamento para o gerenciamento de elementos de rede ativos, as interfaces de dados entre o sistema de inventário e os sistemas de gerência dos elementos ativos permitem a consulta e atualização das informações em ambos sistemas. Ou seja, o sistema de inventário e documentação constitui a base do suporte à operação das redes.

3 | CONCLUSÃO

O novo ambiente de redes de telecomunicações flexíveis e cambiantes em empresas elétricas exige um novo enfoque para a documentação das redes que inclua a documentação física das redes e toda a conectividade física e lógica. A experiência na implantação de um sistema para essa finalidade em várias empresas indica claras vantagens técnicas, operacionais e econômicas. O sistema implantado precisa funcionar “*out of the box*” e sua utilização deve ser fácil e intuitiva, sem tempos longos de treinamento e adaptação. O sistema deve apresentar visões claras da rede, com georreferenciamento, com ferramentas gráficas de desenho e fácil integração com sistemas existentes. Além

disso, os processos para a utilização de um sistema deste tipo deve incluir a adoção de processos de gestão que também facilitem o trabalho do usuário e lhes tragam benefícios claros na execução de seus trabalhos.

Finalmente, o investimento de capital no sistema se justifica por haver compensação dos gastos por ganhos operacionais obtidos com grande rapidez.

REFERÊNCIAS

(1) Novas Tecnologias Internet (autores António José Figueiredo Enne, Bruno Wanderley e Cristiano Henrique Ferraz, Editora Elsevier – Brasil, 2017).

(2) Padrões IEC 61850v3

(3) Electric Power Substations Engineering, Second Edition, John D. McDonald – 2016

(4) Smart Grid Handbook, 3 Volume Set, editado por Chen-Ching Liu,Stephen McArthur,Seung-Jae Lee

(5) The Industrial Communication Technology Handbook - editado por Richard Zurawski – 2005

(6) Broadband Infrastructure: The Ultimate Guide to Building and Delivering OSS/BSS Por Shailendra Jain, Mark Hayward,Sharad Kumar

CAPÍTULO 15

APLICAÇÃO DE ÁRVORES DE DECISÃO EM UM BANDO DE DADOS PARA LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM MEDIDORES INTELIGENTES

Data de aceite: 01/03/2022

Data de submissão: 25/01/2022

Marcel Ayres de Araújo
Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho (UACSA), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)
Cabo de Santo Agostinho – Pernambuco
http://lattes.cnpq.br/0669410110930611

RESUMO: As interrupções de energia elétrica causadas por faltas nos sistemas elétricos de potência se destacam em virtude do potencial dano que podem causar aos elementos constituintes dos sistemas de distribuição, às concessionárias e aos consumidores, comprometendo a qualidade da energia disponibilizada. Neste contexto, este trabalho objetiva localizar faltas em sistemas de distribuição empregando a capacidade de monitoramento da tensão dos medidores inteligentes alocados em diferentes pontos da rede elétrica. A abordagem proposta baseia-se na utilização de dados de tensão e da sensibilização a passagem de corrente elétrica pelos medidores inteligentes para apontamento do local de ocorrência da falta em relação aos medidores por meio de sistemas inteligentes baseados em Árvores de Decisão. Os resultados obtidos demonstram que a seleção dos dados e o uso de informações redundantes fornecidas por vários medidores inteligentes minimiza os erros de localização, o que reduz a busca pelo local de ocorrência da falta pelas equipes de manutenção da rede elétrica.

PALAVRAS-CHAVE: Árvores de decisão, Localização de faltas, Medidores inteligentes, Redes elétricas inteligentes, Sistemas de Distribuição.

APPLICATION OF DECISION TREES IN A DATABASE TO LOCATE FAULTS IN ELECTRIC POWER DISTRIBUTION SYSTEMS WITH SMART METERS

ABSTRACT: The outages of power supply caused by faults in electric power systems stand out because of the potential damage that they can cause to the constituent elements of the distribution systems, the concessionaires and the consumers, com-promising the power quality available. In this context, this work aims to locate faults in distribution systems employing a capacity of monitoring the voltage of the smart meters allocated in different points of the electric network. The proposed approach is based on the use of voltage data and the sensitization of the passage of electric current by the smart meters to indicate the location of occurrence of the fault in relation to the meters through intelligent systems based on Decision Trees. The results obtained demonstrate that the data selection and the use of redundant information provided by several smart meters minimizes the localization errors, which reduces the search by the place where the fault occurred by the network maintenance teams.

KEYWORDS: Decision tree, Fault location, Distribution systems, Smart grid, Smart meters.

1 I INTRODUÇÃO

O crescente e contínuo desenvolvimento tecnológico e econômico atrelado ao aumento do

consumo de energia elétrica vem impulsionando a permanente ampliação e modernização dos Sistemas Elétricos de Potência (SEP). Em meio às soluções em desenvolvimento a de maior destaque é a implantação das Redes Elétricas Inteligentes (REIs), as quais preconizam fornecer energia com altos índices de confiabilidade, continuidade e segurança. Para tanto, por meio das mesmas busca-se desenvolver e implantar nas redes elétricas ferramentas de monitoramento, comunicação, informação, controle e medição (Borlase, 2013; Bayindir et al., 2016; Ghosal e Conti, 2019; Kumar et al., 2019).

Um dos grandes desafios do setor elétrico deve-se a interrupções não programadas no fornecimento de energia por desligamentos de partes ou de todo o alimentador de distribuição, causadas por faltas temporárias ou permanentes. A ocorrência de faltas nos Sistemas de Distribuição (SDs) deve- se a diferentes fatores, tais como problemas elétricos, mecânicos, de isolação, de manutenção e de natureza térmica, entre outros (Anderson, 1995; Glover; Sarma; Overbye, 2011). Devido aos danos físicos para a rede elétrica e seus equipamentos sua correção deve ser realizada por equipes de manutenção de forma rápida e eficiente vislumbrando a operação segura e econômica do SEP (Batista, 2016; Bahmanyar, 2017; Beheshtaein et al., 2019).

Nesta conjuntura, a pesquisa desenvolvida tem como objetivo a localização de faltas em SDs por meio da capacidade de monitoramento da rede e aquisição de sinais proporcionada pela infraestrutura de medição avançada das redes elétricas inteligentes. Para tanto, inicialmente foi feita a aquisição de sinais por diversos medidores inteligentes espalhados em um alimentador de distribuição para formação de um banco de dados de tensão. Em seguida, foi realizada a extração de informações deste banco de dados por meio de sistema inteligentes pautados na aplicação de um algoritmo de Árvores de Decisão (AD) em dois cenários distintos de treinamento e teste devido a separação dos dados. Por fim, cruzando as informações obtidas com a aplicação do algoritmo de AD com a topologia da rede elétrica sob análise foi possível o apontamento da distância entre os medidores inteligentes e o local de ocorrência da falta.

Posto isto, na sequência, a segunda seção apresenta os principais aspectos referentes às Árvores de Decisão. A terceira seção expõe os detalhes sobre a implementação computacional do alimentador e formação do banco de dados de tensão. Na quarta seção são mostrados os resultados da aplicação do algoritmo de Árvores de Decisão sob o banco de dados de tensão para a localização de faltas. Finalmente, as conclusões da pesquisa são apresentadas na quinta seção.

2 | ÁRVORES DE DECISÃO

A aplicação de técnicas e ferramentas de Aprendizado de Máquina (AM) tem se destacado nos processos de descoberta de conhecimento por meio de algorítmicos, utilizando representações de modelos mais flexíveis e heurísticas para a realização de

busca. Em virtude do aumento do volume e variedade de dados, ampliação da potencialidade de processamento computacional com menores custos, e necessidade de armazenamento de grande massa de dados de forma mais acessível, o desenvolvimento e aplicação das técnicas de AM tem ganho destaque. Isto decorre da sua capacidade de inferir modelos automatizados com baixo esforço computacional para análise de grandes e complexos bancos de dados, fornecendo resultados rápidos e precisos, mesmo que em larga escala (Freitas, 2002; Haykin, 2008; Bell, 2014).

O conhecimento formalizado em bases de conhecimento pode ser representado por meio de regras, mapeadas em Árvores de Decisão (ADs) cujo objetivo é criar um modelo viável que preveja o valor de uma variável desconhecida com base no conjunto de variáveis de entrada. Amplamente utilizadas em algoritmos de classificação, as ADs são representações simples do conhecimento e um meio eficiente de construir classificadores que predizem classes baseadas nos valores de atributos de um conjunto de dados. Esta técnica de Aprendizado de Máquina utiliza uma representação em árvore para classificação e predição das amostras desconhecidas, sendo estruturada hierarquicamente em um conjunto de nós interconectados (Theodoridis e Koutroumbas, 2008; Haykin, 2008; Bell, 2014, Gollapudi, 2016).

Quando se trabalha com a aplicação dos conceitos de AD sobre um conjunto de dados espera-se que ela classifique corretamente exemplos desconhecidos, porém verifica-se que na prática podem ocorrer classificações equivocadas. Uma forma de quantificar o nível de acerto e/ou erro de classificação é por meio da matriz de confusão de um classificador, a qual também fornece informações sobre a acurácia, sensitividade, especificidade e confiabilidade positiva e negativa. Além disso, o software WEKA (Weka, 2020), empregado na presente pesquisa, fornece métricas adicionais sobre os classificadores das ADs induzidas, os quais são: Estatística Kappa, Erro Absoluto Médio e Erro Relativo Absoluto.

A Estatística Kappa é uma medida que indica o grau de concordância entre dois classificadores mostrando quanto a concordância observada se aproxima da esperada, considerando para tanto as probabilidades de as concordâncias terem acontecido (Landis e Koch, 1977; McHugh, 2012). Uma das formas de calculá- la é por meio de (1), em que *k* é o valor da Estatística Kappa *P(a)* é a probabilidade da concordância observada e *P(b)* da concordância esperada.

$$k = \frac{P(a)-P(b)}{1-P(b)} \qquad (1)$$

Para a avaliação de modelos induzidos, como os classificadores de AD, a Estatística Kappa é calculada entre o classificador e o conjunto de treinamento, este último considerado um classificador infalível. Segundo o apresentado por (Landis e Koch, 1977) a Tabela 1 fornece uma interpretação para a Estatística Kappa, relacionando seu valor com o grau de concordância dos classificadores.

k	Interpretação
<0	nenhuma concordância
0- 2	concordância baixa
0,21–0,4	concordância regular
0,41–0,6	concordância moderada
0,61–0,8	concordância substancial
0,81- 1	concordância quase perfeita

Tabela 1: Interpretação da Estatística Kappa (adaptado de Landis e Koch, 1977).

Para os cálculos dos outros parâmetros pelo WEKA deve-se tomar a seguinte notação: dada a i-ésima amostra na forma *(xi, yi), xi* é o atributo e *yi = f(xi)* a classe rotulada pelo processo de classificação, em que *h(·)* é o classificador ou hipótese, e *n* é o número de exemplos (Landis e Koch, 1977; McHugh, 2012). Tendo em vista esta notação, a relação entre os valores exatos e aproximados para os classificadores pode ser estimada pelos seus erros, dentre os quais destaca-se o Erro Absoluto Médio (EAM), calculado por meio de (2):

$$EAM = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |y_i - h(x_i)| \tag{2}$$

Já o Erro Relativo Absoluto (ERA) pode ser calculado a partir de (3), em que $\bar{y}$ é a média dos valores para todas as classes.

$$ERA = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |y_i - h(x_i)|}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |y_i - \bar{y}|} \tag{3}$$

3 | METODOLOGIA

A ideia geral do método desenvolvido para localização de faltas foi compor um banco de dados a partir das informações fornecidas pelos medidores inteligentes instalados em todos os transformadores de um determinado sistema de distribuição. Deste banco de dados podem ser extraídas informações do sistema elétrico tais como: matrizes admitância e impedância, informações de curto- circuito, tensões em cada uma de suas barras, topologia de rede, entre outras. Sobre estas informações foi realizada a aplicação de ferramentas de Aprendizado de Máquina, especificamente um algoritmo de Árvores de Decisão, para extração e processamento do conhecimento, o qual em conjunto com informações do sistema elétrico fornece o local ou região de possível ocorrência da falta.

O alimentador piloto escolhido para avaliação nesta pesquisa faz parte do sistema de distribuição de uma concessionaria de energia elétrica do Estado de São Paulo, opera em 13,8 kV e a disposição geográfica da sua rede primária é apresentada na Fig. 1. O presente alimentador de distribuição foi modelado com 1600 barras, a contar com a

subestação, e 505 pontos de medição pela alocação de medidores inteligentes junto ao lado de média tensão de cada um dos transformadores do sistema. Na Fig. 1 a subestação está representada por um círculo em alaranjado, as barras do sistema por anéis na cor ciano, e os medidores inteligentes alocados em cada um dos 505 transformadores por círculos em preto. Além disso, para as simulações considerou-se que antes da ocorrência das faltas as tensões de fase do sistema têm mesmo módulo e estão defasadas de 120º, o sistema opera sem cargas e sem conexão de geradores distribuídos, e são simuladas faltas francas entre a Fase A e a terra em cada uma de suas 1599 barras (não foi simulada falta na barra da subestação).

A partir das simulações, o banco de dados foi formado por 25 tensões, 2 impedâncias e 1 indicação de sensibilização por corrente de falta para cada um dos 505 medidores para as 1599 faltas simuladas, totalizando um conjunto de dados com 22.609.860 parâmetros. Ressalta-se que os medidores e barras do sistema foram numerados consecutivamente a partir da subestação, e ao longo da aplicação da metodologia proposta para localização de faltas foi assumida a mesma numeração inicialmente definida.

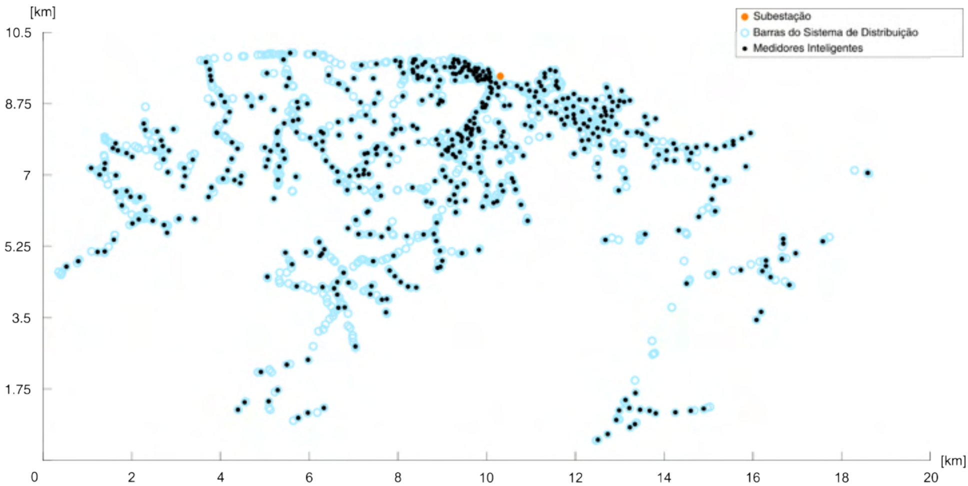


Figura 1 - Disposição geográfica da rede primária do alimentador de distribuição real.

O método desenvolvido baseia-se na análise da propagação de desequilíbrios de tensão pelo sistema elétrico em virtude da ocorrência de faltas, os quais apresentam diferentes variações nos distintos pontos da rede em função do local da falta e das características do sistema de distribuição. A partir da aquisição e avaliação das tensões de fase (V_A, V_B e V_C) e cálculo dos módulos das tensões de linha e de sequência separando suas partes reais e imaginárias (V_{AB}, V_{BC}, V_{CA}; V_0, V_1, V_2; V_{BR}, V_{BIm}, V_{CR}, V_{CIm}; V_{ABR}, V_{ABIm}, V_{BCR}, V_{BCIm}, V_{CAR}, V_{CAIm}; V_{0R}, V_{0Im}, V_{1R}, V_{1Im}, V_{2R}, V_{2Im}), busca-se estimar por meio de dois sistemas inteligentes distintos (SI-1 e SI-2) as impedâncias de sequência zero (Z_{0k}) e positiva (Z_{1k})

entre os "*k*" medidores e o local da falta. Posteriormente, são calculadas as distâncias elétricas (d_{0k} e d_{1k}) equivalentes dos "*k*" medidores inteligentes em relação ao ponto sob falta a partir dos valores das impedâncias de sequência zero e positiva.

Além disso, a metodologia proposta também faz uma avaliação da sensibilização dos "k" medidores inteligentes pelas correntes de falta, estimando por meio de outro sistema inteligente independente (SI-3) a indicação da sensibilização (+1) ou não (-1) dos mesmos frente a ocorrência de faltas no sistema de distribuição, como ilustrado na Fig. 2. Para tanto, foram definidas as 25 tensões como os atributos de entrada dos três sistemas inteligentes, e as impedâncias de sequência zero e positiva como saídas de SI-1 e SI-2, e a indicação de sensibilização como saída de SI-3.

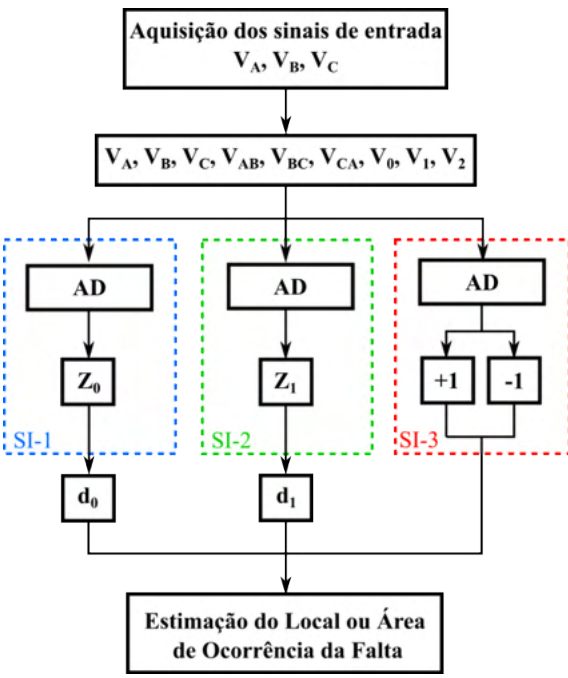


Figura 2 - Ilustração representativa do método proposto.

A fim de configurar um processo de classificação, buscou-se a relação entre os desequilíbrios de tensão e faixas de classificação das impedâncias, e entre os desequilíbrios de tensão e a sensibilização ou não dos medidores inteligentes pela passagem de correntes de falta, empregando a técnica de aprendizagem de máquina denominada Árvore de Decisão.

Conforme ilustrado pela Fig. 2, a partir do cruzamento das informações obtidas com as distâncias elétricas da falta em relação aos medidores e da sensibilização dos mesmos, foi possível então estimar o local ou região de ocorrência da falta no sistema

de distribuição por meio de um algoritmo de baixo esforço computacional e resultados confiáveis empregando-se AD.

4 I IMPLEMENTAÇÃO DOS SISTEMAS INTELIGENTES

A partir do banco de dados formado com as informações obtidas pela modelagem e simulação computacional do sistema elétrico sob estudo nos softwares MATLAB® e Simulink, deu-se início a implementação dos três sistemas inteligentes distintos (SI-1, SI-2 e SI-3) para estimação das impedâncias de sequência zero (Z_{0k}), impedâncias de sequência positiva (Z_{1k}), e da sensibilização dos medidores inteligentes pelas correntes de falta, respectivamente. Para tanto, fez-se uso do algoritmo J48 da técnica de classificação Árvore de Decisão (AD) presente no software livre WEKA (Weka, 2020).

O algoritmo J48 é a implementação na linguagem Java do algoritmo C4.5, o qual constrói um modelo de AD baseado em um conjunto de dados de treinamento para posterior classificação de outras instâncias de um conjunto de teste. Sua função de avaliação, utilizada para escolher qual atributo determinará a ramificação da árvore, baseia-se na análise da função do ganho de informação do atributo. O algoritmo J48 utiliza técnicas de poda para remover da AD os segmentos que possuem menor ganho de informação, inibindo a ocorrência de *overfitting*. Destaca-se que no presente contexto, *overfitting* se refere a problemas de sobreajuste da árvore a partir de um aprendizado muito específico e da geração de um modelo de baixa generalização.

A fim de evitar o *overfitting* do modelo de AD a ser criado optou-se pela validação cruzada como método de treinamento e teste, pois por meio do mesmo os exemplos são aleatoriamente divididos em "n" partições mutuamente exclusivas de tamanho aproximadamente igual e cada um dos exemplos é utilizado tanto para treinamento quanto para teste. Na literatura correlata, testes extensivos mostram que 10-*fold cross-validation*, ou seja, assumir $n = 10$, possibilita testes bastante eficientes para a validação cruzada, conforme exposto em (Kohavi, 1995; Witten e Frank, 2005; Delen; Walker; Kadam, 2005), e dessa forma este foi o valor padrão adotado no desenvolvimento da AD desta pesquisa.

Para indução da AD no software WEKA pelo algoritmo J48 foi necessário deixar o comando "*unpruned*" marcado como "*False*" para que fosse realizada a poda da árvore pelo algoritmo, e o comando "*subtreeRaising*" foi assumido como "*True*" para que ocorresse a poda em cada sub-árvore criada. Foi tomada especial atenção com os parâmetros de entrada, "*confidenceFactor*" e "*minNumObj*", os quais interferem diretamente nas regras criadas no processo de indução da AD, e, por conseguinte, nos resultados de sua aplicação para classificação. Após vários testes observou-se que para os classificadores de maior acerto dos três sistemas inteligentes (SI-1, SI-2 e SI-3) o valor dos parâmetros "*confidenceFactor*" e "*minNumObj*" deveria ser 0,2 e 0,35, 0,2 e 0,3 e 0,25 e 0,3 respectivamente.

Trabalhando com todo o banco de dados procurou-se definir a melhor relação entre

o número de divisões de classes das impedâncias e a taxa de acerto dos classificadores. Para que isto fosse feito foi proposta a divisão das impedâncias de sequência zero e positiva em 5 conjuntos de classes, da seguinte forma: conjunto 1 - 2 classes; conjunto 2 - 3 classes; conjunto 3 - 5 classes; conjunto 4 - 7 classes e conjunto 5 - 10 classes.

Além disso, no processo de treinamento e teste dos sistemas inteligentes foram avaliados dois cenários distintos de separação dos dados, em que no primeiro foram utilizados 70% dos dados para treinamento do classificador e para a validação da metodologia os 30% restantes na etapa de teste, conforme recomendado na literatura correlata (Freitas, 2002; Haykin, 2008; Bell, 2014; Gollapudi, 2016). Já no segundo cenário, no processo de treinamento dos sistemas inteligentes foi utilizado o maior número de dados possível desde que cada uma das classes tivessem o mesmo número de dados, e para validação da metodologia foi empregado o restante dos dados. Destaca-se que este processo de formação de classes com a mesma quantidade de dados dentro de um mesmo conjunto visa selecionar os dados de maior informação e também reduzir o conjunto de dados para treinamento dos sistemas inteligentes.

Posto isto, realizando testes com os 5 conjuntos de classes de impedâncias tanto para Z_0 quanto para Z_1, nota-se por meio da Fig. 3 que os acertos dos classificadores para ambas as impedâncias são maiores para a divisão dos dados em 3 classes diferentes nos dois cenários. Além disso, destaca-se que a taxa de acerto é maior para o cenário 2 e a medida que se dividem os dados em um número de classes maior, o acerto diminui para ambos os casos.

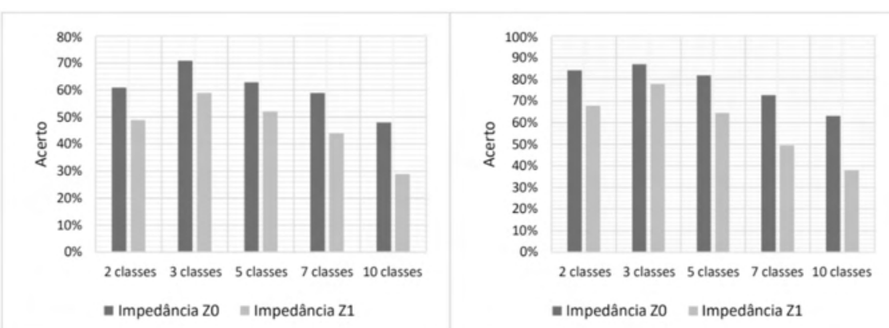


Figura 3 - Taxa de acerto dos classificadores das impedâncias Z_0 e Z_1 para o cenário 1 (esquerda) e cenário 2 (direita).

Na Fig. 4 os índices da Estatística Kappa seguem padrões semelhantes ao dos acertos dos classificadores a medida que se aumenta o número de classes, bem como é maior para os dados agrupados conforme o cenário 2. Destaca-se que para os classificadores de maior acerto (3 classes), a Estatística Kappa indica concordância substancial entre os classificadores dos modelos induzidos e os do conjunto de treinamento, corroborando com

o maior acerto verificado para os mesmos.

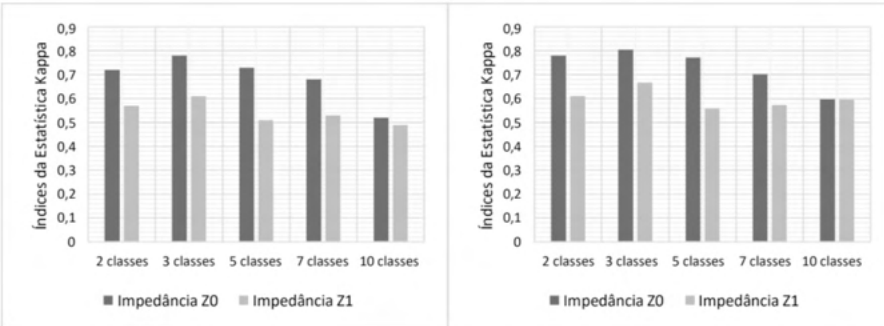


Figura 4 - Índices da Estatística Kappa para os classificadores das impedâncias Z_0 e Z_1 para o cenário 1 (esquerda) e cenário 2 (direita).

Na Fig. 5 também se confirma que os melhores classificadores para as impedâncias Z_0 e Z_1 são os que utilizam a divisão das impedâncias em 3 classes e os dados agrupados conforme o cenário 2, uma vez que possuem menor erro relativo absoluto. Já na Fig. 6 a taxa do erro absoluto médio é menor para a divisão das impedâncias Z_0 e Z_1 em 3 classes no cenário 1 e menor para a divisão das impedâncias em 10 classes para o cenário 2. Contudo, apesar do resultado da análise deste último parâmetro não indicar menor erro com a divisão das impedâncias em 3 classes, pode-se concluir pela avaliação do conjunto de parâmetros supracitados que os melhores classificadores para as impedâncias Z_0 e Z_1 são os que utilizam a divisão das impedâncias em 3 classes com os dados agrupados conforme o cenário 2, e, portanto, foram utilizados no processo de classificação das mesmas, as quais posteriormente servirão de base para o cálculo equivalente das distâncias elétricas. Ressalta-se que a adoção da divisão das impedâncias em 3 classes com igual quantidade de dados implica no emprego de 4,56% e 2,51% do conjunto total de dados para treinamento dos classificadores de Z_0 e Z_1, trazendo maior ganhos de informação e agilidade devido a utilização de uma quantidade de dados menor a ser processada.

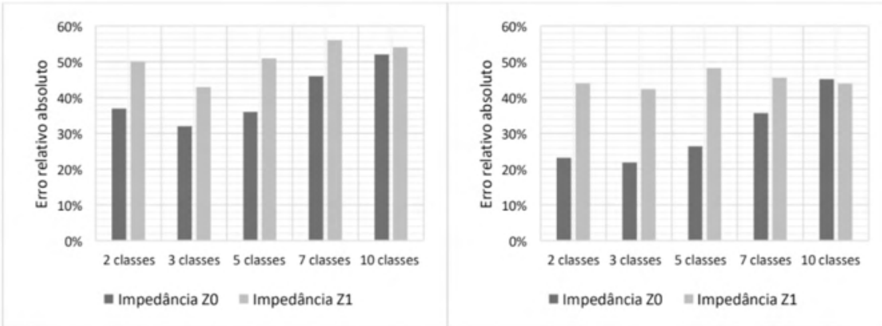


Figura 5 - Taxa de erro relativo absoluto para os classificadores das impedâncias Z_0 e Z_1 para o cenário 1 (esquerda) e cenário 2 (direita).

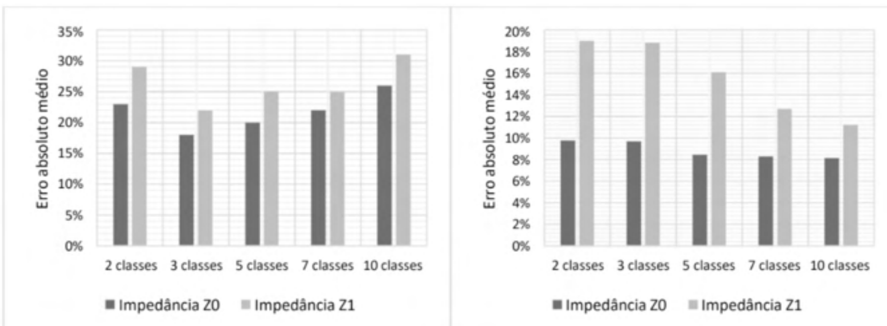


Figura 6 - Taxa de erro absoluto médio para os classificadores das impedâncias Z_0 e Z_1 para o cenário 1 (esquerda) e cenário 2 (direita).

Analisando agora as matrizes de confusão dos classificadores de Z_0 e Z_1 para as impedâncias divididas em 3 classes conforme apresentado na Tabela 2 e na Tabela 3 confirma-se o grau de acurácia total (ou taxa de acerto) e de precisão de cada uma de suas classes. A partir dos dados da Tabela 2 verifica-se que a acurácia do classificador da impedância Z_0 é 87,02%, e a precisão das classes A, B e C é 70,03%, 90,56% e 96,83%, respectivamente. Já a partir dos dados da Tabela 3 averígua-se que a acurácia do classificador da impedância Z_1 é 77,92%, e a precisão das classes A, B e C é 62,56%, 80,20% e 90,41%, respectivamente.

	A	B	C
A	7304	3012	113
B	866	11796	363
C	87	336	12921

Tabela 2: Matriz de confusão para o melhor classificador de Z_0.

	A	B	C
A	4139	1475	1002
B	439	5448	906
C	74	589	6247

Tabela 3: Matriz de confusão para o melhor classificador de Z_1.

Por fim, cabe destacar que após treinamento e teste o classificador de sensibilização dos medidores inteligentes frente a passagem de corrente de falta obteve taxa de acerto de 94,06%.

5 I RESULTADOS

A fim de validar a metodologia proposta foram empregados os classificadores implementados e ajustados, conforme exposto na seção anterior, sob os dados de simulação de faltas sobressalentes do processo de treinamento.

Após a indução das árvores de decisão dos três sistemas inteligentes foram repassados novos valores de tensão de fase, de linha e de sequência para os classificadores, a partir dos quais foram estimadas as impedâncias Z_0 e Z_1 entre os medidores e o local da falta por meio dos processos de classificação das ADs.

Em seguida, foram calculadas as distâncias elétricas equivalentes, em quilômetros, entre os medidores inteligentes e o ponto sob falta no sistema de distribuição sob análise.

Na Fig. 7 é apresentada a distribuição do erro relativo entre os valores esperados e os estimados para a distância d_0, por meio dos quais observa-se que o classificador estima a distância d_0 para todo o espectro de valores esperados. Destaca-se que 21,84% das distâncias foram estimadas corretamente sem erro, 54,05% possuem erro entre -5 e +5 km, 77,39% têm erro entre -10 e +10 km, e 89,04% possuem erro entre -15 e +15 km. Com os resultados obtidos depreende-se também que entre 0 e +5 km registra-se a faixa com o maior número de ocorrências do erro para a distância d_0, com cerca de 38,12% do total dos erros.

Para fins de localização de falta, ainda avaliando o erro de estimação da distância d_0 foi calculado seu erro absoluto médio, o qual para os dados de validação é 8,33 km. Cabe destacar que para o alimentador de distribuição analisado esta faixa de valores de erro da distância poderia auxiliar a localização do ponto em que ocorreu a falta. Contudo, devido a necessidade de correção rápida e eficiente de uma falta no SEP, a busca pelo local exato da falta em um trecho de até 8,33 km por equipes de manutenção é considera demorada e onerosa pelas concessionaria de energia.

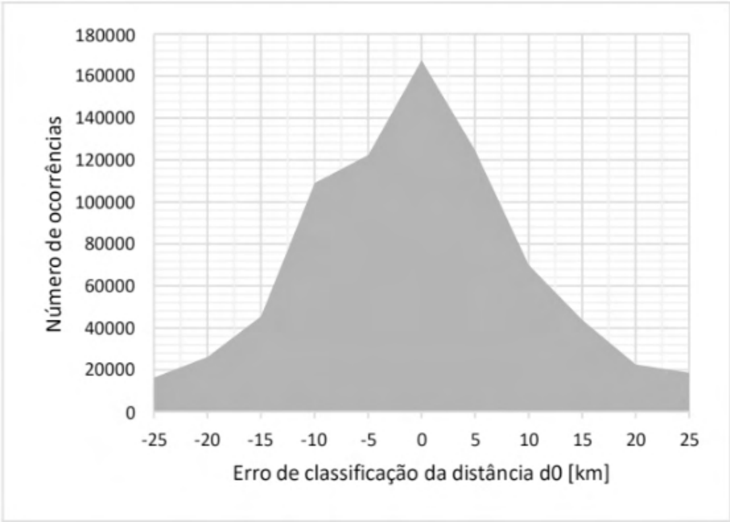


Figura 7 - Erro de estimação da distância da falta em função da impedância Z_0 para o conjunto de dados de validação.

Já na Fig. 8 é exposta a distribuição do erro relativo entre os valores esperados e os estimados para a distância d_1, por meio dos quais também se nota que o classificador estima esta distância para todo o espectro de valores esperados. Ressalta-se que 17,44% das distâncias foram estimadas corretamente sem erro, 46,98% possuem erro entre -5 e +5 km, 70,37% têm erro entre -10 e +10 km, e 83,94% possuem erro entre -15 e +15 km. Com os resultados obtidos é possível observar ainda que entre 0 e +5 km registra-se a faixa com o maior número de ocorrências do erro para a distância d_1, com cerca de 32,63% do total dos erros. Novamente, para fins de localização de falta, avaliando o erro de estimação da distância d_1 foi calculado seu erro absoluto médio, o qual para os dados de validação é 9,59 km. Erro este que é maior que o obtido para a distância d0, logo apesar de auxiliar no processo de localização da falta é considerado muito alto pelas concessionaria de distribuição de energia.

Ainda em relação aos resultados apresentados nas Fig. 7 e Fig. 8, deve ser frisado que já eram esperados erros maiores entre os valores esperados e os estimados para a distância d_1 em relação à distância d_0, tendo em vista que a AD induzida para a classificação das impedâncias Z_0 possuía acurácia 9,1% maior que a AD induzida para a classificação das impedâncias Z_1.

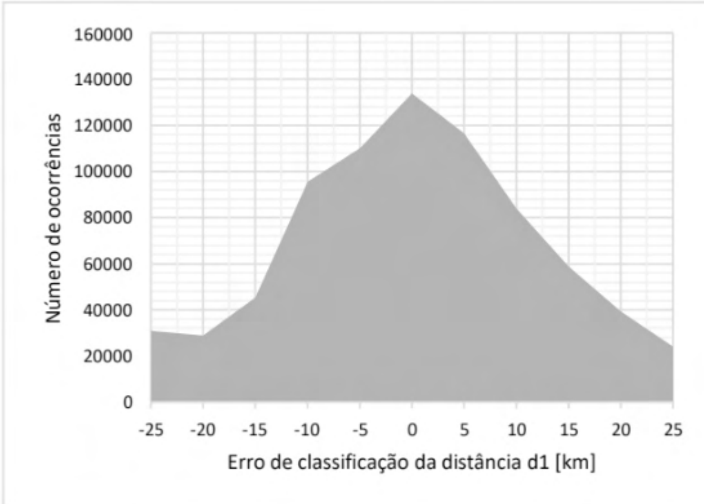


Figura 8 - Erro de estimação da distância da falta em função da impedância Z_1 para o conjunto de dados de validação.

Posteriormente, para obter o terceiro parâmetro utilizado pela presente metodologia no processo de localização de faltas foi empregado o conjunto de dados de validação e o classificador do SI-3 para estimação da sensibilização dos medidores inteligentes a passagem da corrente de falta. Os resultados obtidos e apresentados na Fig. 9 mostram o elevado grau de acerto entre o estado real e o estimado cuja taxa de erro relativo absoluto foi de 6,94%.

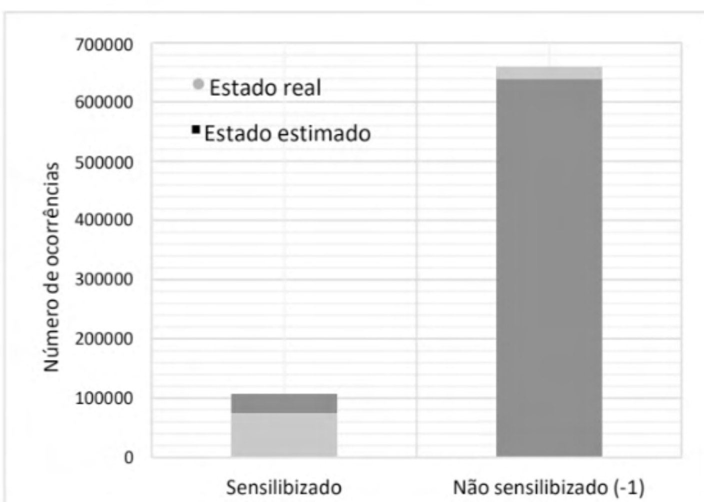


Figura 9 - Número de ocorrência de sensibilização ou não por correntes de falta dos medidores inteligentes para o conjunto de dados de validação.

Por fim, cruzando as informações das estimações dos 3 sistemas inteligentes e fazendo a intersecção entre as regiões de concentração das distâncias obtidas, chega-se ao o erro da distância de localização da falta conforme apresentado na Fig. 10. A partir desta figura, destaca-se que em 28% das simulações testadas a localização ocorre sem erro, 62,01% possuem erro entre -5 e +5 km, 83,47% têm erro entre -10 e +10 km, e 90,67% possuem erro entre -15 e +15 km.

Com os resultados obtidos depreende-se que o cruzamento das informações auxilia no processo de localização da falta, uma vez que o erro de localização foi reduzido quando comparado com os erros alcançados individualmente para d_0 e d_1 devido a uma maior concentração de distâncias com valores menores de erro. Para as faixas de distâncias com maior relevância para o processo de localização da falta houve um aumento de 6,16% e de 10,56% de distâncias estimadas corretamente sem erro em relação a d_0 e a d_1, e ainda 7,96% e 15,03% de aumento de distâncias com erros entre -5 e +5 km, respectivamente.

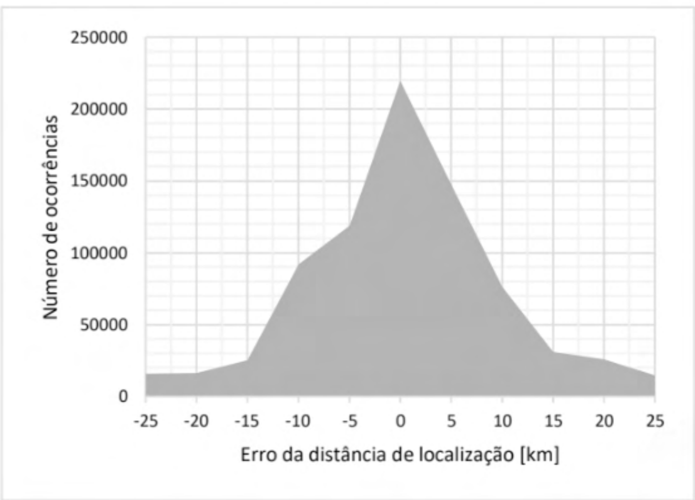


Figura 10 - Erro da distância de localização da falta para o conjunto de dados de validação.

6 I CONCLUSÃO

A partir dos resultados apresentados com a validação da metodologia proposta foi salientada a relevância das etapas de cruzamento e análise das informações disponibilizadas por d_0, d_1 e o estado de sensibilização dos medidores. Este cruzamento visou trabalhar com a redundância de informações disponibilizadas pelos medidores inteligentes a fim de simplificar e agilizar o processo de localização da falta.

Os resultados também evidenciam que a maior parte dos erros da distância de localização se concentram na faixa entre -5 e +5 km, e o erro absoluto médio da metodologia de localização foi de 7,26 km. Com este erro é possível obter uma região de ocorrência da

falta que apesar de não ser estritamente reduzida tem comprimento representando 14,52% do comprimento total do alimentador sob estudo, o qual possui aproximadamente 50 km de linhas de distribuição de energia. Deste modo, pode-se concluir que a estimativa obtida auxiliaria no processo de localização da falta e deslocamento das equipes de manutenção, porém está acima do usual para bons localizadores de falta, os quais trabalham com áreas de menos de 1 km de comprimento. Ressalta-se que o erro absoluto médio de 7,26 km decorre de duas situações principais, a dificuldade de generalização dos classificadores frente ao conjunto de dados apresentados para treinamento e teste e o aprendizado insuficiente no processo de indução das ADs.

A fim de melhorar o processo de estimação das distâncias pelos classificadores, e consequentemente aumentar o acerto do método de localização de faltas, propõem-se para o prosseguimento da pesquisa a análise de clusterizações dos dados de entrada dos sistemas inteligentes implementados.

AGRADECIMENTOS

O autor gostaria de agradecer ao Laboratório Multiusuário de Geração Distribuída (LMGD) da UACSA/UFRPE pela disponibilização da infraestrutura e demais serviços realizados neste trabalho, bem como amparo e auxílio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE).

REFERÊNCIAS

Anderson, P. M. **Analysis of Faulted Power Systems**. IEEE Press Power Systems Engineering Series, New York, 1995, p. 513.

Bahmanyar, A.; Jamali, S.; Estebsari, A.; Bompard, E. **A comparison framework for distribution system outage and fault location methods**. Electric Power Systems Research, vol. 145, pp. 19-34, April, 2017.

Batista, O. E.; Flauzino, R. A.; Araújo, M. A.; Moraes, L. A.; Silva, I. N. **Methodology for information extraction from oscillograms and its application for high-impedance faults analysis**. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. vol. 76, pp. 23-34, March, 2016.

Bayindir, R.; Colak, I.; Fulli, G.; Demirtas, K. **Smart grid technologies and applications**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 66, pp. 499– 516, December, 2016.

Beheshtaein, S.; Cuzner, R.; Savaghebi, M. and Guerrero, J. M. **Review on microgrids protection**, in IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 13, no. 6, pp. 743-759, 2019.

Bell, J. **Machine Learning: Hands-on for developers and technical professionals**. 1st Edition, Wiley, 2014, 408 p.

Borlase, S. **Smart Grids: Infrastructure, Technology, and Solutions**. CRC Press, Taylor & Francis Group, New York, USA, 2013, 591 p.

Delen, D.; Walker, G.; Kadam, A. **Predicting breast cancer survivability: a comparison of three data mining methods**. Artificial Intelligence in Medicine, vol. 34, nº 2, pp. 113–127, 2005.

Fang, X.; Misra, S.; Xue, G.; Yang, D. **Smart Grid – The New and Improved Power Grid: A Survey**. IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 14, nº 4, Fourth Quarter, 2012.

Freitas, A. A. **Data Mining and Knowledge Discovery with Evolutionary Algorithms**, Springer, 2002, 265 p.

Ghosal, A. and Conti, M. **Key Management Sys-tems for Smart Grid Advanced Metering Infrastructure: A Survey**, in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 21, no. 3, pp. 2831-2848, 2019.

Glover, J. D.; Sarma, M. S.; Overbye, J. D. Power System Analysis and Design, 5ª Edição, Editora Cengage Learning, 2011, 848 p.

Gollapudi, S. **Practical Machine Learning**. Packt Publishing, 2016, 468 p.

Haykin, S. **Neural Networks and Learning Machines**. 3ª Edição, Editora Prentice-Hall; New Jersey; 2008, 936 p.

Kohavi, R. **A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection**. In: International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), Montreal, Quebec, Canada, pp. 1137-1143, 1995.

Kumar, P.; Lin, Y.; Bai, G.; Paverd, A.; Dong, J. S. and Martin, A. **Smart Grid Metering Networks: A Survey on Security, Privacy and Open Research Issues**, in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 21, no. 3, pp. 2886- 2927, 2019.

Landis, J. R.; Koch, G. G. **The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics**. vol. 33, nº 1, pp. 159–174, March, 1977.

McHugh, M. L. **Interrater reliability: the kappa statistic**, Biochemia Medica, vol. 22, nº 3, pp. 276-282, 2012.

Theodoridis, S.; Koutroumbas, K. **Pattern Recognition**. 4ª Edition, Academic Press, 2008, 984 p.

Weka. **The Waikato University**. Disponível em: http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka. Acessado em 18/06/2020.

Witten, I. H.; Frank, E. **Data mining: practical machine learning tools and techniques**. 2nd Ed. Elsevier, 2005, 558 p.

CAPÍTULO 16

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO USO DE LÂMPADAS UV-C EM SERPENTINAS DE RESFRIAMENTO

Data de aceite: 01/03/2022
Data de submissão: 31/01/2022

Andressa Paes Pereira
FAPRO - Faculdade Profissional
Curitiba – Paraná
http://lattes.cnpq.br/2014703907587298

Alexandre Fernandes Santos
FAPRO – Faculdade Profissional
Curitiba – Paraná
https://orcid.org/0000-0001-5306-6968

Ariel Dov Ber Gandelman
UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Curitiba – Paraná
http://lattes.cnpq.br/8787909163317179

Eliandro Barbosa de Aguiar
FAPRO – Faculdade Profissional
Curitiba – Paraná
https://orcid.org/0000-0001-9994-7736

Heraldo José Lopes de Souza
FAPRO - Faculdade Profissional
Curitiba – Paraná
https://orcid.org/0000-0002-8471-7804

RESUMO: O propósito deste artigo é o de mensurar os efeitos de lâmpada UV-C nos equipamentos de refrigeração difundidos do Brasil. Especificamente em serpentinas de resfriamento para uso comercial (câmaras frias), onde serão apresentados os efeitos do uso de lâmpadas UV-C na eficiência energética dos equipamentos. Com a colocação da lâmpada melhorou em muito o rendimento de troca do aletado, devido a mudança de trajeto do ar, houve uma leve diminuição de vazão de ar (algo próximo de 3%). Em contra partida a limpeza do biofilme da serpentina melhorou a troca de calor. Os resultados da serpentina sem UV-C foram realizados após 04 dias de uso contínuo da lâmpada. O analisador de energia trifásico aferido mensurou um consumo um pouco maior que com a lâmpada, isto foi compensado pelo melhor rendimento, ou seja, COP foi de 13,5 %. É verdade que uma limpeza na serpentina teria um efeito melhor pelo fato de não gerar a perda de carga da lâmpada e o consumo de 15W dela. Mas enquanto a limpeza tem efeito mensal (ou anual), a lâmpada tem a possibilidade de efeito contínuo.

PALAVRAS-CHAVE: Lâmpada UV-C, Eficiência, Rendimento.

EVALUATION OF ENERGY EFFICIENCY IN THE USE OF UV-C LAMPS IN COOLING COILS

ABSTRACT: The purpose of this article is to measure the effects of UV-C lamp on diecasting refrigeration equipment in Brazil. Specifically in cooling coils for commercial use (cold rooms), where the effects of the use of UV-C lamps on the energy efficiency of the equipment will be presented. With the placement of the lamp greatly improved the exchange performance of the finned, due to change of air path, there was a slight decrease of air flow (something close to 3%), in contrast to the cleaning of the serpentine biofilm improved the (it is important to note that

the results of the serpentine without UV-C were performed after 4 days of continuous use of the lamp, were the other tests were performed under the same conditions, due to the lower temperature in the procedure without the lamp, the measured three-phase energy analyzer measured a slightly higher consumption than without the lamp, this was compensated for by the better yield, ie, COP was 13.5%. It is true that cleaning the coil would have a better effect because it did not generate the charge loss of the lamp and the consumption of 15W of it.But while the cleaning has monthly effect (or annual), the lamp has the possibility of continuous effect.

KEYWORDS: UV-C lamp, Efficiency, Yield.

1 I INTRODUÇÃO

A luz ultravioleta faz parte do espectro eletromagnético, com comprimentos de onda entre 100 e 400 nanômetros (nm). Quanto menor o comprimento de onda, maior a energia produzida. Estas ondas, embora invisíveis, são semelhantes à luz visível, e abrangem vários comprimentos de onda e propriedades. Fazem parte do espectro ultravioleta as faixas UV-A (400 - 320 nm), UV-B (320 – 280 nm) e UV-C (280 – 100 nm).

Especificamente as lâmpadas germicidas UV-C trabalham num comprimento de onda de 220 a 280 nm, conforme Figura 1.

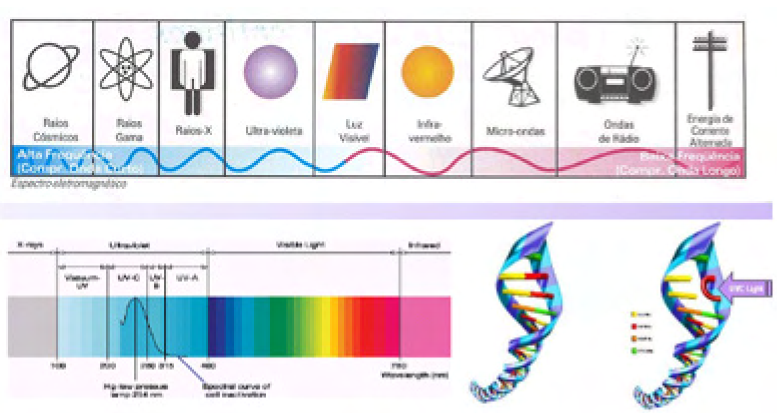


Figura 1- Espectro comprimento de onda lâmpada UV-C (Radiant UV, 2017).

Segundo GREENGUARD ENVIRONMENTAL INSTITUTE (USA), uma qualidade pobre do ar interior é associada com potenciais problemas de saúde. Melhorar a qualidade do ar não apenas reduz significativamente o nível de doenças e absenteísmo, como também gera fortes impactos positivos na produtividade do trabalhador, estimados entre 0,5 a 5%.

Entre as opções para reduzir o absenteísmo e a melhor produtividade de trabalho é a implementação de lâmpadas UV-C.

De forma empírica os fabricantes de lâmpadas UV-C esclarecem sobre além

daquestão do IAQ (*Indoor Air Quality*), a possibilidade de economia de energia por intermédio de trabalhar com a serpentina sem o Biofilme e demais sujidades.

À medida em que os equipamentos de ar-condicionado são utilizados, a capacidade de manter os níveis de temperatura e umidade adequados no ambiente climatizado diminui. Muitas vezes, o fator responsável é a redução da eficiência da transferência de calor da serpentina do equipamento de ar condicionado com o fluxo de ar. Evidências mostram que essa queda no desempenho pode ocorrer dentro de cinco anos de uso (BLATT, M. S., OKURA, T., MEISTER, B., 2006).

A redução na eficiência de transferência de calor pela serpentina é, tipicamente, resultado do acúmulo de contaminantes em suas superfícies. A acumulação de material orgânico (biofilme) causa o isolamento térmico da superfície, gerando uma maior temperatura do ar de insuflamento de bulbo úmido, diminuindo a capacidade latente - remover água do ar e, como resultado, a umidade do espaço é elevada. A tabela 1 apresenta os dados de redução na eficiência de troca térmica em função da espessura da camada de biofilme depositado sobre serpentinas de resfriamento.

Espessura Biofilme (mm)	Redução na Eficiência (%)
0,152	16
0,305	20
0,610	27
0,914	33
1,626	50

Tabela 1 – Redução de Eficiência de Troca Térmica em Função de Espessura de Biofilme.

Com o aumento da espessura da camada de biofilme há maior dificuldade de manter o fluxo de ar entre as aletas da serpentina e, com ventiladores de rotação / vazão constante, o fluxo de ar acaba sendo reduzido. Mas mais importante que o fluxo é a troca de calor que o Biofilme pode reduzir essa eficiência conforme a tabela 1.

Medindo-se os efeitos da lâmpada UV-C nos equipamentos de refrigeração, como, serpentinas de resfriamento em uso comercial, em todo o Brasil. Assim será vista os efeitos na eficiência energética usando lâmpadas UV-C.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram analisados os dados obtidos em uma câmara fria vazia de dimensões 3,5 m x 1 m x 2,2 m, volume de ar total de 7,7 m³, utilizada para testes, de capacidade de resfriamento de 2,6 kW.



Foto 1- Câmara frigorífica.

A serpentina possui dimensões de 400 x 650 mm.

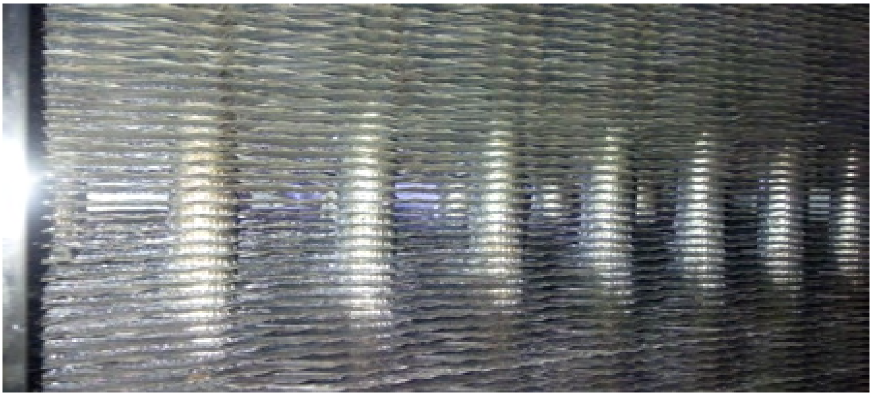


Foto 2 – Evaporadora.

A vazão de ar foi obtida por medição com anemômetro de fio quente em 20 pontos na entrada de ar da serpentina.

Um termo higrômetro foi utilizado para medir a temperatura e umidade da câmara em um ponto ao fundo da câmara, no lado oposto à serpentina de resfriamento.

A lâmpada UV-C é prejudicial na exposição ao homem sem proteção. Foi realizado a instalação da lâmpada, conforme diagrama elétrico, que a partir de sensor de presença desliga o sistema de lâmpada UV-C.



Foto 3 - Ligação elétrica.

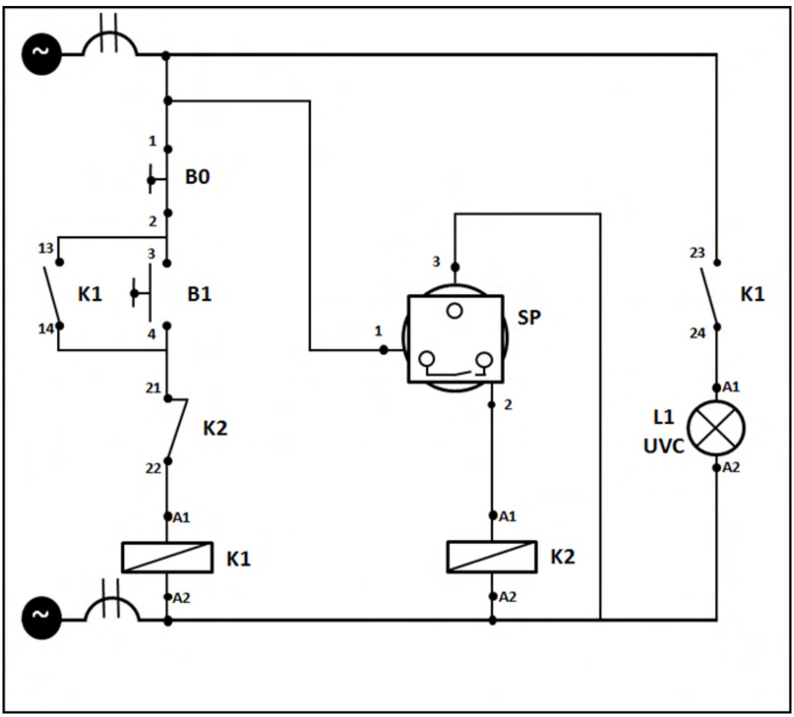


Figura 1 - Esquema Elétrico.

Funcionamento consiste em reconhecimento por movimento, feito por sensor de presença instalado no interior da câmara, intertravado com sistema de *On/Off* instalado fora da câmara, que acionamento da lâmpada UV-C ao abrir a porta da câmara.

O Sistema possui uma ligação elétrica relativamente simples utilizando como materiais a relação abaixo:

- 01 lâmpada UVC marca OSRAM modelo Germicidal (Puritec HNS 15W G13 /

G15T8/OF);

- 01 reator marca Maxxi Lumi Modelo MP 1-16 Partida Instantânea (16W) (127V/220V);
- 02 contactores auxiliares marca Siemens (6A 220V 60HZ 3RH1122-1AU10);
- 01 sensor de presença Isiluz (SPF601B);
- 01 Disjuntor Telemecanique C60L Bifásico 1A. 25418;
- 01 botoeira Marca Altronic modelo BDA-SI 1NA+1NF Verde/Vermelho;
- Fiação Pirelli Modelo Superastic 750V / 1mm².



Foto 4 - Lâmpada instalada.

A lâmpada UV-C utilizada é potência nominal de 15 W, sendo 4,9 W de potência dentro do espectro UV-C entre 200 e 280 mm. Diâmetro de 25,4 mm, e comprimento de 438 mm. Foi utilizada apenas 1 lâmpada, com distância de 250 mm da serpentina.

O método utilizado foi verificar a transformação de entalpia do ar na primeira hora de funcionamento da câmara fria, comparando a capacidade de resfriamento e vazão antes e depois da instalação do sistema de lâmpadas UV-C.

Com intuito de ampliar a eficiência da lâmpada foi usado um espelho no suporte.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Devido a ser uma Câmara de testes da Faculdade Profissional os testes da Câmara antes de depois da instalação da Lâmpada UV-C aconteceram com as mesmas condições de temperatura de condensação, ou seja, as temperaturas de admissão de ar no condensador ocorreram na mesma temperatura que foi de 17ºC, isto foi possível por que

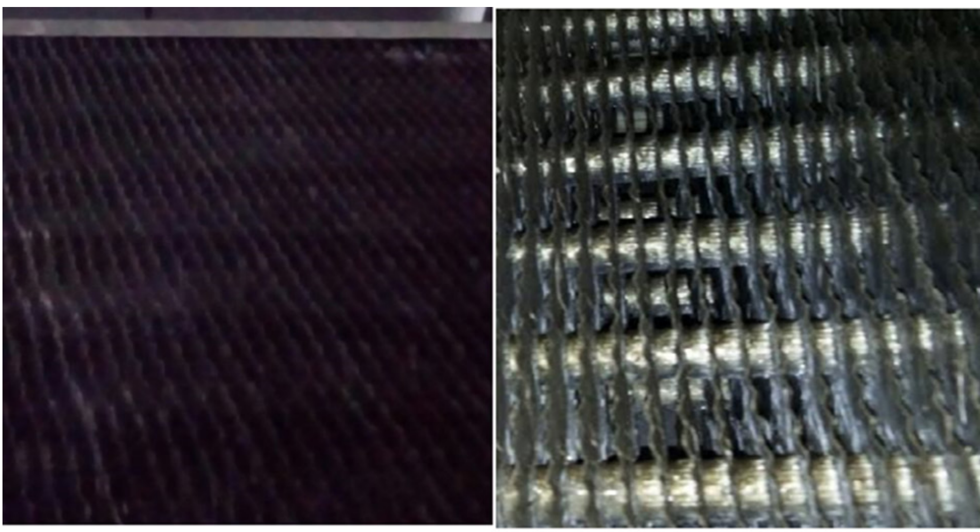
existe sistema de climatização independente da Câmara no Laboratório.

Também existe 3000 W de resistência elétrica para gerar carga térmica e as cargas térmicas das paredes são de 93 W por hora para uma variação de temperatura de até 8ºC por hora.

Os valores de vazão foram executados com o mesmo perfil de locação do anemômetro em 20 pontos distintos e com média, com anemômetro de fio quente aferido.

É importante ressaltar que apesar de não haver limpeza da serpentina a mais de 12(doze) meses, o perfil de uso da Câmara nunca foi para produtos e sim para testes.

Apesar que não foi definido um padrão de espessura de sujeira antes e depois, o resultado foi visível pelas fotos.



Antes Depois

Foto 5 – Antes e depois.

Os testes foram realizados para a câmara sem e com UV-C, os resultados foram:

	Temp. inicial (ºC)	Carga Térmica Paredes	Resist. Elétrica (W).	Temp. após 1 hora (ºC)	Vazão (M³/h)	DT Médio	Calor Sensível Rejeitado	Consumo (W)	COP (W/W)
Câmara sem UV-C	17	93,48837209	3000	12	2339,64	5	2947,9464	950	3,103
Câmara com UV-C	17	93,48837209	3000	10,5	2412	6	3646,944	1030	3,541

Tabela 2 – Resultados.

4 I CONCLUSÕES

Apesar de a lâmpada ter melhorado em muito o rendimento de troca do aletado, devido a mudança de trajeto do ar, houve uma leve diminuição de vazão de ar (algo próximo de 3%). Por outro lado, a limpeza do biofilme da serpentina melhorou a troca de calor. Os testes da serpentina com UV-C, duraram 04 dias, usando continuamente a lâmpada. Foram realizados os outros testes sob as mesmas condições. Devido a temperatura mais baixa no procedimento com a lâmpada, o analisador de energia trifásico aferido, mediu um consumo um pouco maior do que sem a lâmpada, isto foi compensado pelo melhor rendimento, ou seja, COP superior.

O aumento de COP foi de 13,5 %.

É verdade que uma limpeza na serpentina teria um efeito melhor pelo fato de não gerar a perda de carga da lâmpada e o consumo de 15W dela. Mas enquanto a limpeza tem efeito mensal (ou anual), a lâmpada tem a possibilidade de efeito contínuo.

REFERÊNCIAS

Blatt, M.S., Okura, T., & Meister, B. 2006. Ultraviolet light for coil cleaning in schools. Engi-neered Systems, pp. 5061. (2006, March).

California Society for Healthcare Engineering. May/June 1998 Vol 28, N 3. (1998)

Montgomery, R.D., & Baker, R. 2006. Study verifies coil cleaning saves energy. ASHRAE Journal, pp. 3436. (2006, November).

RADIANTV. 2017. Ultraviolet Education. Disponível em http://www.radiantuv.com/uv-edu/. Acessado em 23/03/2017.

RLW. 2006. Analytics. Advanced HVAC systems for improving indoor environmental quality and energy performance of California K12schools, project final report: UVC technology. Sacramento, CA: California Energy Commission. Disponível em http://www.archenergy.com/ieqk12/Public/Proj3_Deliverables/D3.0e_UVCFinalReport_20060629.pdf. 2006.

CAPÍTULO 17

KILOMETRAJE RECORRIDO, DESGASTE DE RUEDAS Y FRENOS EN BOGÍES DE TRANSMISIÓN Y REMOLQUE EN TRENES ELÉCTRICOS

Data de aceite: 01/03/2022

Gustavo David Valera Mendoza
0000-0002-4138-4552

Gianni Michael Zelada García
0000-0003-2445-3912

RESUMEN: Han transcurrido poco más de 8 años desde el comienzo de la operación ferroviaria eléctrica en el país por lo que los elementos que componen el material rodante han ido desgastándose, este efecto no ha sido ajeno para piezas tan importantes como son las ruedas y discos de freno. Producto de este desgaste llegará el momento de recambio para estos componentes, la pregunta que surge naturalmente es cuándo se dará este cambio. Para dar respuesta a esta interrogante se planteó realizar el estudio correlacional que cuantifique la relación entre los kilómetros recorridos por cada tren y lo milímetros de desgaste de estos elementos, de esta manera se podrá determinar una tasa media desgaste y así estimar las fechas de reperfilado y/o recambio. Una vez realizado el análisis correlacional se determinó que para el caso del diámetro de ruedas el coeficiente de correlación de Pearson es de 0.9552, la velocidad media de desgaste es de 3.1501 mm cada 75 000 km, además se pudo observar que la velocidad de desgaste en los bogies a tracción del tipo MA la velocidad de desgaste es de 3.6368 mm cada 75 000 km, para los bogies a tracción del tipo MB la velocidad de desgaste es de 2.8995 mm cada 75 000 km mientras que para los bogies del tipo remolque R la velocidad de desgaste es de 2.2547 mm cada 75 000 km. Para el caso de los discos de freno se determinó que el coeficiente de correlación de Pearson para el espesor es de 0.8946, la velocidad media de desgaste es de 0.90 mm cada 50 000 km, además se observó que los bogies a tracción del tipo MA y MB presentan una velocidad de desgaste de 0.91 y 0.88 mm cada 50 000 km respectivamente y los bogies del tipo remolque R presentan una velocidad de desgaste de 0.88 mm cada 50 000 km.

PALABRAS CLAVE: Transporte ferroviario eléctrico, desgaste, material rodante, bogies, discos de freno y análisis correlacional.

REALIDAD PROBLEMÁTICA

“El desgaste implica una pérdida progresiva de material (peso) y la alteración de las dimensiones de una pieza sólida (Tovar, 2006)”. A la ciencia que lo estudia se le conoce como Tribología (Díaz del Castillo, 2007), y su causa se debe a la acción mecánica de un sólido, líquido o gas sobre la referida superficie (Tovar, 2006).

El grado de desgaste que se genere en un sistema mecánico como por ejemplo un freno y su disco, depende para Tovar (2006) del: i) material y geometría de los componentes en contacto; ii) las variables de operación, entre ellas la velocidad relativa (Díaz del Castillo, 2007); iii) y la interacción entre las piezas en contacto; iv) y el ambiente operativo, vale decir

la presencia de polución y/o lubricantes.

La pérdida de material acumulada puede constituir una falla del sistema; si no se advierte de dicho desgaste esta puede ser repentina, si los componentes afectados forman parte de un sistema de transporte masivo, la falla puede llegar a ser catastrófica. Por ello García, Acosta y Flórez (2015) colocan al sistema de frenado como el componente más importante para la seguridad vial.

Toda empresa de transporte masivo cuenta con un plan de mantenimiento, para entre otras cosas, revisar rutinariamente los sistemas de freno. En el caso de estudio, al tratarse de una red de trenes, el mencionado plan respecto al sistema de freno implica: i) inspección rutinaria visual y medición de los desgastes de las pestañas, asientos diámetros de ruedas y frenos tomando como frecuencia a la cantidad de kilómetros recorridos; ii) rectificación de medidas y eliminación de entalles en las superficies de rodadura y contacto, iii) reemplazo rutinario de elementos rodantes, llámese ruedas y frenos. Este mencionado plan, parte del legado de las rutinas de mantenimiento que la ficha técnica del equipo sugiere.

Sin embargo, este plan, debe ser justado acorde a los diversos factores operacionales y de diseño de vía, como lo menciona Cuervo (2014), Quintana y Preciado (2016) y Caballero (2017); por ello, el problema de esta investigación se centra en:

¿Es posible determinar una relación precisa entre el kilometraje recorrido y los desgastes en ruedas y frenos en bogíes de transmisión y remolque de trenes eléctricos; y a través de este planificar las actividades de inspección; medición; perfilado y reemplazo?

JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con un reporte recientemente publicado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), el servicio ferroviario de Lima traslada poco más de medio millón de pasajeros diariamente, por lo que lleva a inferir que es uno de los principales medios de transporte en la ciudad. Al ser un medio de transporte importante, es necesario asegurar la continuidad del servicio y que el número de trenes operativos sea el máximo posible, siendo así la gestión de mantenimiento un rol fundamental en ello.

El desconocimiento del ritmo de desgaste conlleva una falta de previsión para las actividades de re perfilado de ruedas y frenos, toda vez que genera picos de trabajo, que no son absorbidos por los recursos disponibles, del mismo modo los recambios de material rodante se ven afectados por la carencia de repuestos, todo esto trasciende en una disminución del número de equipos operativos del material rodante, desatención del servicio de transporte e incomodidad de los usuarios. Por último, si se omiten estas prioridades, se generaría un riesgo en la operación, con resultados catastróficos en la integridad de las unidades de transporte, pero sobre todo en la seguridad de los usuarios.



Figura 1. Árbol de problemas.

MARCO TEÓRICO

Se define como mantenimiento al conjunto de actividades que permite mantener o restablecer un equipo o sistema a un estado en el cual este pueda desempeñar sus funciones con normalidad. (Duffuaa, Raouf & Dixon, 2000, p.29).

Dentro de lo que mencionan Ballester, Olmeda, Macián y Tormos (2002), se considera que un plan de mantenimiento adecuado en una flota de transporte debe estar alineado a los objetivos principales del servicio, tales como la seguridad, comodidad, calidad y cumplimiento de horarios.



Figura 2. Locomotora eléctrica[1] y bogíes[2].

BOGIE

Es aquel par montado de ruedas sobre el cual se apoya la carrocería del ferrocarril, se les clasifica en dos tipos importantes: Bogie motor o tracción, es aquel que posee capacidad de tracción y bogíes remolque, es aquel que no posee capacidad de tracción.

1 Fuente: https://fracademic.com/dic.nsf/frwiki/686722).
2 (Fuente http://castulotechnology.com/).

Los bogíes pueden estar conformados por dos o tres ejes, en los cuales se ubican dos ruedas por eje, dos cajas de grasa, sistema de frenado, sistema de suspensión y la caja reductora (solo en bogíes motor) que es la que ponen en contacto el motor con los ejes de bogíes.

El bastidor de bogíes es aquella estructura metálica donde se montan los ejes y el motor (en el caso de bogíes motor) además, trabaja como unión entre la caja y bogíes.

FRENOS FERROVIARIOS

En lo investigado por Miranda (2015), los cilindros de freno empleados en trenes ferroviarios son dispositivos muy complejos. Se trata de elementos capaces de generar suficiente fuerza de frenado para detener un tren y corregir automáticamente el desgaste que sufren las guarniciones de freno. Su funcionamiento es totalmente mecánico, y esta corrección automática se da sin intervención de electrónica de ningún tipo. Existen modelos que únicamente equipan el freno de servicio y modelos que además incorporan el freno de estacionamiento. Así, se dispone de dos tipos de freno en el mismo equipo con un requerimiento de espacio similar.

RUEDAS Y EJES

Ejes

Es aquel componente sobre los cuales se colocan las ruedas de los bogies, los elementos más importantes de los ejes son:

Cuerpo del eje.

Sección de calaje: Zona donde se encajan las ruedas.

Manguetas.

Son considerados el elemento más importante en cualquier tipo de vehículo ferroviario. Los elementos más importantes de las ruedas son:

Pestaña: Parte saliente en los extremos de la rueda cuya principal función es impedir el descarrilamiento del ferrocarril. Tiene dos medidas importantes, las cuales deben ser controladas ya que indican el re perfilado o cambio de la rueda, estos son el alto y ancho de pestaña. Superficie de rodadura: Superficie en contacto entre la rueda y la vía férrea.

Cubo: Pieza metálica que trabaja como unión entre la rueda y el eje.

Límite máximo de desgaste: Limite hasta el que se puede re perfilar una rueda.

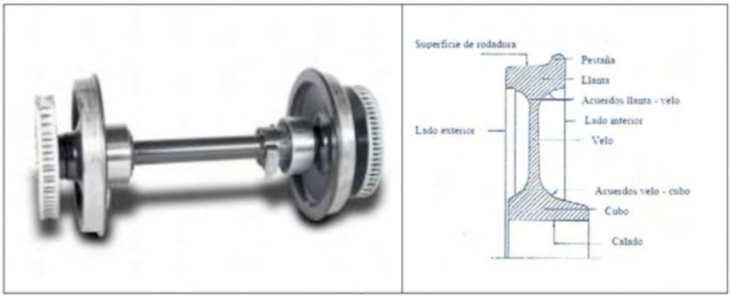


Figura 3: Ejes[3] y perfil[4] de rueda.

SISTEMA DE FRENADO

Según el estudio realizado por Miranda (2015), el freno de servicio se acciona por medios neumáticos con aire comprimido en la cámara del émbolo correspondiente. La presión desplaza el émbolo, al que está soldado el vástago, moviendo la timonería de freno y el frenado. Con esto se vence la oposición del resorte que permite el retorno del émbolo a su posición original una vez se retira el aire. El funcionamiento del freno de estacionamiento es opuesto al del freno de servicio, ya que, en este caso la acción de varios resortes mantiene el freno aplicado y con el aire comprimido se afloja.

La timonería de freno son dos mecanismos de palanca colocados simétricamente respecto de su eje longitudinal. Estando el cilindro de freno en un extremo, y en el otro las guarniciones que actuarán sobre el disco. Es la relación entre los dos brazos de palanca que multiplican la fuerza ejercida por el cilindro, dando esta secuencia para el frenado:

Posición de aflojamiento.

Frenado, fase 1. Se aproximan las zapatas al disco. Se realiza el recorrido de aplicación. Frenado, fase 2 donde no hay desgaste del disco. Se recorre la distancia derivada de la elasticidad del freno y se efectúa el frenado.

Frenado, fase 2 hay desgaste del disco. Se recorre la distancia causada por la elasticidad del freno más la originada por desgaste de la zapata y el disco y se efectúa el frenado.

CURVA TRIBOLÓGICA

Según Albarracín (s.f.), la curva tribológica de los componentes de una máquina es muy similar a la curva de la bañera de Davis (referida a las diferentes etapas en las que pueden fallar los componentes de las máquinas) y se conoce también como la curva de desgaste normal de cada uno de estos componentes a través del tiempo. Esta curva será

3 (Fuente http://www.cafmiira.com).
4 Fuente: http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/18085/3/TFM%20Presencia%20de%20defectos.pdf).

característica para cada uno de los diferentes metales que constituyen la metalurgia de los mecanismos de la máquina, expresándose en partes por millón (ppm) que puede haber presentes en el aceite, analizado luego de su cambio. La curva tribológica tiene tres etapas fundamentales que son: improductiva ó asentamiento del componente, productiva ó vida a la fatiga y final ó vida remanente (envejecimiento moral). Ver figura a continuación.

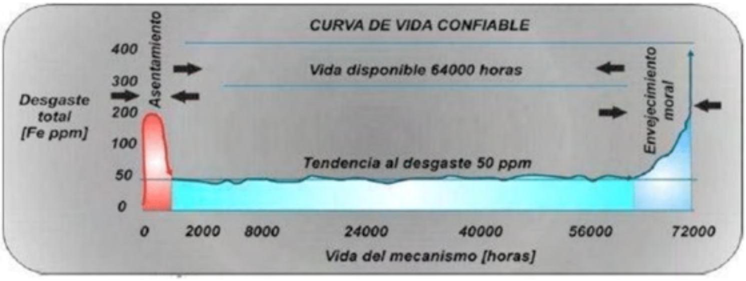


Figura 4: Curva tribológica.

Albarracín (s.f.).

METODOLOGÍA

Como variable independiente se ha definido a la distancia recorrida por la locomotora, cuyo indicador está expresado en miles de kilómetros, y como *variable dependiente*, al desgaste lateral, espesor de discos de freno y diámetro, largo y ancho de pestaña de ruedas, expresado en milímetros. Ambas variables tienen como método de recogida de datos será por observación directa, con frecuencia de medición cada 50,000 kilómetros. Para la variable independiente se utiliza como instrumento el odómetro de la unidad; y para la variable dependiente, un vernier, reloj comparador y un medidor digital de perfiles de rueda (miniprof); toda esta información es documentada en las cartillas de medición de discos de freno y el reporte de re perfilado de discos y frenos.

Parámetro	Frecuencia	Valor Inicial /Límite
Diámetro de rueda: Es el diámetro de la rodadura, medido a 70 mm (punto D de la figura) de la cara interna de la rueda.	75,000 km	840 / 770 mm
Espesor de Pestaña (Sd): Es la medida entre la cara interna de la rueda y el punto de la cara activa de la pestaña ubicado a 10 mm del círculo de rodadura.	75,000 km	31.1 /36 mm
Altura de Pestaña (Sh): Es la distancia existente entre el vértice de la pestaña y su proyección sobre la horizontal que pasa por el círculo de rodadura.	75,000 km	29/ 25 mm
Diámetro de la rueda de freno	50,000 km	

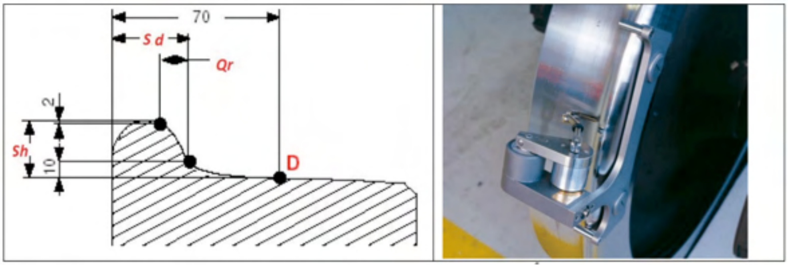


Figura 5: Perfil de rueda y miniprof[5].

POBLACIÓN Y MUESTRA

La población está compuesta por los discos de freno y ruedas de los 39 trenes que conforman la flota ferroviaria. Cada tren está conformado por 6 coches (5 del tipo tracción y 1 remolcado), cada coche consta de 2 bogíes y cada bogí tiene 4 ruedas y dos discos de freno. En total la población se compone de 1872 ruedas y 936 discos de freno. La muestra será poblacional.

RESULTADOS

Resultados relacionados a las ruedas

Se tomaron 800 datos del diámetro de las ruedas de los diversos bogíes para cada intervalo de tiempo, hayan pasado o no a ser rectificados al torno. Los resultados se muestran por tipo de bogíes y por recorrido. Según su recorrido, esto datos siguen una distribución normal, pues tienen un nivel de significancia mayor a 0.05 en la prueba de normalidad de Kolmogorov–Smirnov (para datos mayores a 30).

	RECORRIDO	Estadístico	gl	Sig.
DESGASTE	I1	,034	278	,200*
	I2	,180	23	,050
	I3	,093	40	,200*
	I5	,059	77	,200*
	I6	,043	382	,083

Tabla 1 - Prueba de Normalidad de datos, agrupados según su recorrido.

El desgaste promedio cada 75,000 kilómetros es igual a 3.1519 mm. Este valor corresponde a la diferencia entre el diámetro de la rueda medido en el kilómetro 75,001, antes de ingresar al torno, y el diámetro de la rueda medido en el kilómetro 150,001, antes de ingresar al torno. Quiere decir que incluye el rectificado, se dé o no, y el desgaste natural del recorrido. La ecuación explicativa Y = -4.1953 X + 846.01, tiene un coeficiente

5 https://www.railway-technology.com/products/miniprof-bt-wheel/.

de Pearson igual a 0.9773.

Desgaste promedio por tipo de Bogíes:

Tipo MA = 3.6368 mm/75 mil km

Tipo MB = 2.8995 mm/75 mil km

Tipo R = 2.5247 mm/75 mil km

Desgaste promedio por recorrido.

En los primeros 75,000 kilómetros = 2.4644 mm/75 mil km

Entre los 75,000 - 150,000 km = 2.5604 mm/75 mil km

Entre los 150,000 - 225,000 km = 3.9868 mm/75 mil km

Entre los 525,000 – 600,000 km = 3.2691 mm/75 mil km

Entre los 600,000 – 675,000 km = 3.4788 mm/75 mil km

El diámetro promedio por recorrido se encuentra representado en la figura 6, cuyo índice de correlación de es de 0.9773. La ecuación de correlación expresa en sí, la velocidad de desgaste de la rueda.

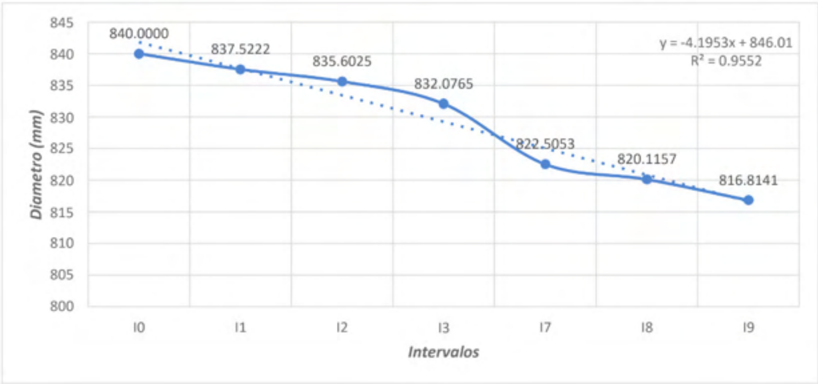


Figura 6: Diámetro promedio de la rueda, por recorrido.

Fuente: Elaboración Propia.

Y = - 4.1953 X + 846.01;

Donde “Y” es el diámetro promedio de la rueda en el instante “X” “X” se expresa en intervalos de 75,000 kilómetros cada uno.

El espesor de la pestaña promedio por recorrido se encuentra representado en la gráfica 7, y en esta se representa una relación lineal con el recorrido, cuyo índice de correlación de 0.9675. La ecuación de correlación expresa en sí, la velocidad de desgaste del espesor de la pestaña.

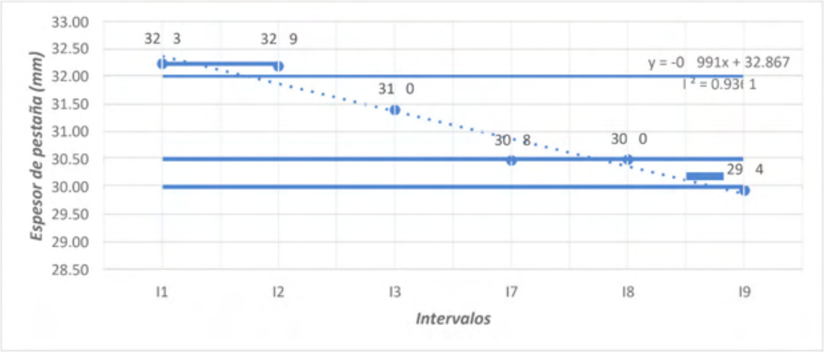


Figura 7: Espesor de la pestaña promedio, por recorrido.

Fuente: Elaboración Propia.

Y = - 0.4991 X + 32.687;

Donde “Y” es el espesor de la pestaña promedio en el instante “X” “X” se expresa en intervalos de 75,000 kilómetros cada uno.

El índice de correlación R es igual a 0.9675

La altura de la pestaña promedio por recorrido se encuentra representado en la gráfica 8, y en esta no se representa una relación lineal con el recorrido, siendo el índice de correlación de 0.0509.

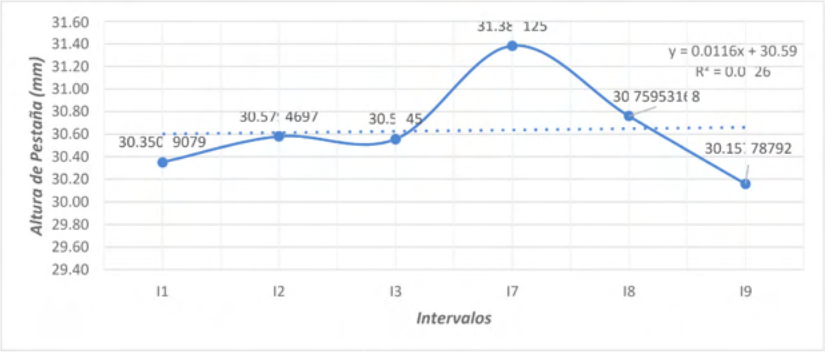


Figura 8: Altura promedio de la pestaña, por recorrido.

Fuente: Elaboración Propia.

En la siguiente tabla se resumen los coeficientes de correlación de Pearson identificados para los parámetros de rueda:

Parámetro	Coeficiente de Correlación (R)
Diámetro	0.9773
Altura de Pestaña (Sh)	0.0509
Espesor de Pestaña (Sd)	0.9675

Tabla 2 - Coeficientes de correlación de Pearson identificados para los parámetros de rueda.

Resultados relacionados a los discos

Se tomaron datos de los discos de freno para los diversos bogíes para cada intervalo de tiempo, hayan pasado o no a ser rectificados al torno. Los resultados se muestran por tipo de bogíes y por recorrido, y en todos los casos se cumple la condición de: Espesor = desgaste + vida útil.

Los valores de desgaste, en promedio, es de 0.96 mm por cada 50 mil kilómetros, Tal como se muestra en la tabla 03.

Tipo de Kilometraje	*Promedio de ESPESOR*	*Promedio de DESGASTE*	*Promedio de VIDA UTIL*
I1	*6.87*	*0.39*	*6.48*
I2	*6.84*	*0.75*	*6.09*
I3	*6.27*	*0.96*	*5.32*
I11	*6.45*	*1.97*	*4.48*
I12	*5.03*	*1.16*	*3.87*
I13	*3.87*	*0.85*	*3.01*
I14	*4.11*	*0.69*	*3.41*
I15	*3.29*	*0.94*	*2.35*

Tabla 3 - Diámetro, desgaste y vida útil promedio de los frenos, por recorrido.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la figura 9, que el desgaste durante los primeros kilómetros es alrededor 0.39 mm; y luego este llega a un pico 1.97 mm, para luego, en sus últimos días, llegar a 0.94 mm.

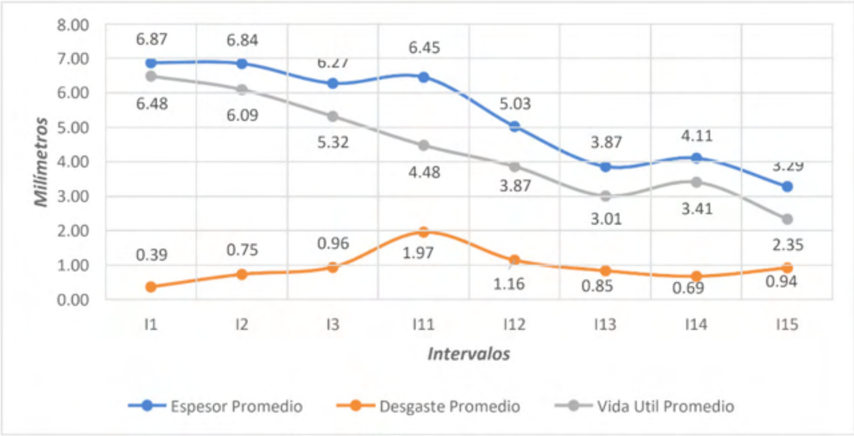


Figura 9: Espesor, desgaste y vida útil de frenos por recorrido.

Fuente: Elaboración Propia.

Tipo de Bogie	*Desgaste*
Bogíes tipo MA	*0.91*
Bogíes tipo MB	*0.88*
Bogíes tipo R	*0.95*

Tabla 4 - Velocidad de desgaste promedio para los discos de freno, por tipo de bogíes.

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se resumen los coeficientes de correlación de Pearson identificados para los parámetros de discos de freno:

Parámetro	Coeficiente de Correlación (R)
Espesor	0.9536
Desgaste por concavidad	0.1533

Tabla 5 - Coeficientes de correlación de Pearson identificados para los parámetros de discos de freno.

Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Ha sido y es motivo de interés predecir el deterioro temprano de equipos y partes para proyectar los costos de reposición y los inventarios necesarios. Para ello, estos equipos y partes deben tener una característica medible de su deterioro, como, por ejemplo: Los forros de las chancadoras (Caballero, 2017); desgaste interno del motor (Medina, 2016); desgaste de ruedas motrices (Velásquez (2014), Quilca (2015), desgaste de rieles

(Quintana & Preciado, 2016); desgaste de cortadoras de una tuneladora (Laín et ál, 2018); o la calidad del aceite de los motores (Coello & Guerrero, 2016).

En algunos casos las medidas de interés son de difícil acceso, por ello se busca una variable a la que esté correlacionada y que esta a su vez sea de fácil acceso, como es el caso: velocidad del eje angular, en el trabajo de Caballero (2017); cierto agentes contaminantes como el trabajo de Medina (2016); perfil de la rueda, el peralte y tipo de riel para la investigación de Velásquez (2014); la carga soportada (Quintana & Preciado, 2016); o finalmente en el kilometraje como es el caso de (Coello & Guerrero, 2016), y de este trabajo.

El trabajo se centra en investigar primero si existe relación entre el kilometraje recorrido y las variables de desgaste de frenos y ruedas, y segundo, estimar, si es posible, la velocidad de desgate, para con ello, predecir la demanda de repuestos y maquinados. El trabajo, a nivel nacional, tiene la limitación de ser la única en su especie, toda vez que los equipos en estudio fueron puestos operativos en el mes de julio del 2011 en su primera fase, y en mayo del 2014 en su segunda fase.

En los resultados obtenidos, se identifica una diferencia entre las velocidades de desgaste de los trenes de trasmisión y de remolque, también se identifica diferencias entre los intervalos de tiempo, que deben ser objeto de otras investigaciones.

CONCLUSIONES

A través de la recopilación y análisis de correlación lineal de los datos, se logró identificar que existe una fuerte relación lineal entre el desgaste de los diámetros de las ruedas y la distancia recorrida por el tren. Esta relación se muestra a través de un coeficiente de Pearson de 0.9773, considerado como una relación fuerte. Este resultado, nos permiten concluir que la velocidad media de desgaste es de 3.1519 mm / por cada 75,000 kilómetros. Asimismo, esta alta relación se explica con la ecuación lineal Y = - 4.1935 X + 846.01. Donde “Y” es el diámetro (mm) promedio de la rueda en el instante “X”, este último “X” se expresa en intervalos de 75,000 kilómetros cada uno.

En este estudio, se observa que los bogíes de tracción tipo MA tienen una velocidad de desgaste de 3.6368 mm, y los de tracción tipo MB tienen una velocidad de 2.8995 mm; mientras los de tipo remolque R, tienen una menor velocidad de desgaste de 2.5247 mm. Por otro lado se encuentra que el desgaste no es parejo a lo largo de la vida útil de la rueda, por ejemplo este, en los primeros 75,000 kilómetros es de 2.4644 mm/75 mil km; y entre los 75,000 – 150,000 km, es de 2.5604 mm/75 mil km; entre los 150,000 – 225,000 km, es de 3.9868 mm/75 mil km; entre los 525,000 – 600,000 km, es de 3.2961 mm/75 mil km; y finalmente entre los 600,000 – 675,000 km, es de 3.4785 mm/75 mil km.

En relación con el espesor de la pestaña, se logró identificar que existe una fuerte relación lineal con la distancia recorrida, que se muestra a través de un coeficiente de

Pearson de 0.9675, considerado como una relación fuerte. Asimismo, esta alta relación se explica con la ecuación lineal Y = - 0.4991 X + 32.867. Donde "Y" es el espesor (mm) promedio de la pestaña de la rueda en el instante "X", este último "X" se expresa en intervalos de 75,000 kilómetros cada uno. Sin embargo, la altura de la pestaña promedio por recorrido no se representa a través de una relación lineal con el recorrido, siendo el índice de correlación de 0.0509.

El valor de desgaste promedio de los discos de freno es de 0.96 mm por cada 50 mil kilómetros; asimismo este valor varía a lo largo del ciclo vida; por ejemplo, en los primeros kilómetros, la velocidad de desgaste es de 0.39 mm; luego este llega a un pico 1.97 mm, para luego, en sus últimos días, llegar a 0.94 mm por cada 50,000 kilómetros. Por otro lado, se puede observar que los bogíes de tracción tipo MA y MB, cuyas velocidades de desgaste es de 0.91 y 0.88 mm, resultan ser menor que la velocidad de desgaste de los discos de freno de los bogíes de remolque tipo R, igual a 0.95 mm.

Al culminar el trabajo de investigación, se observa que los bogíes de transmisión tipo MA, presenta un deterioro mayor al 20.27% mayor que los bogíes de transmisión tipo MB, y un 38.00% por ciento mayor que los bogíes tipo remolque. Condición que amerita considerar dentro de los planes de reemplazo de partes. En razón a los discos de freno, los bogíes tipo remolque son los que muestran mayor velocidad de degaste, superando en 4.21%a los bogíes tipo MA, y en 7.36% más que los bogíes tipo R.

RECOMENDACIONES

Al evidenciarse niveles de desgaste desigual entre los coches Ma, R y Mb, este último que posee pantógrafo, se sugiere realizar investigaciones respecto al desgaste del pantógrafo y el desgaste de ruedas y discos de freno, por evidenciarse que existen ciertas variantes entre ellos detectadas en el taller de mantenimiento.

Con base a los resultados obtenidos, se sugiere ampliar la investigación respecto al desgaste de discos de freno relacionado con el rozamiento de las pastillas de freno ya que existe evidencia de niveles de desgaste desigual entre los coches del tipo tracción y tipo remolque.

Se sugiere realizar estudios relacionados a la disciplina mecánica, para medir la influencia del desgaste entre: el perfil del riel, el perfil de la rueda y la velocidad de rodadura. Cabe señalar que en el Perú no existe un laboratorio apropiado para ello, siendo Brasil uno de los países en la región el lugar donde se podrían realizar estos experimentos.

Con las tasas de desgaste determinadas para cada tipo de coche, se estima alcanzar los 70 mm de desgaste en el caso de los coches tipo Ma a los 1'443,577 kilómetros recorridos, en el caso de los coches tipo Mb a los 1'810,657 kilómetros recorridos y para los coches tipo R a los 2'328,469 kilómetros recorridos. Teniendo en cuenta estos kilometrajes, se recomienda incluir el cambio de ruedas para los coches del tipo Ma y Mb durante la

ejecución del segundo mantenimiento del tipo IM2 y asegurar el abastecimiento oportuno de los componentes para ese momento. Respecto al cambio de ruedas en los coches R, estos sucederán dentro del mantenimiento OH3.

Respecto a los discos de freno, teniendo en cuenta las tasas de desgaste para los coches del tipo Ma, Mb y R; el reperfilado debe realizarse cada 105,000 kilómetros recorridos. Este valor, demuestra que las frecuencias de desgaste del material rodante tienen ritmo propio y no necesariamente coinciden con las frecuencias de medición señaladas por el fabricante. En mayor detalle al observarse tasas de desgaste distintas para diámetro de ruedas y discos de freno entre los coches tipo tracción y remolque, se sugiere realizar un análisis más detallado para determinar las posibles causas de este comportamiento.

Se recomienda sustituir el uso del vernier y reloj comparador para la medición del desgaste de discos de freno por la versión de la herramienta Miniprof para frenos, esto facilitará la emisión digital de los registros de medición en formato texto evitando así, incoherencias y falta de legibilidad al momento del llenar las cartillas de medición que actualmente se realiza de forma manual.

REFERENCIAS

Albarracín, P. (s.f.) Seminario Tribología y Lubricación. Dictado a: Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA, Medellín – Colombia

Antonio Armas, L. R. (2016). Gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad mecánica de la maquinaria de confitados en Industrias Alimentarias S.R.L.

Arques Patón, J. L. (2009) Ingeniería y gestión del mantenimiento en el sector ferroviario. España. Ediciones Diaz de Santos.

Ballester, S., Olmeda, P., Macián, V., Tormos, B. (2002) El mantenimiento de las flotas de transporte. En Revista Técnica Industrial, 247

Caballero Alania, A. J. (2017). Relación entre desgaste de mantos y parámetros críticos de funcionamiento del chancador primario tipo NT de la Minera Chinalco Perú.

Cano, C. (2017) La Administración y el Proceso Administrativo. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

Coello Salcedo, M. y Guerrero Palacios, T. (2016). Determinación de la degradación y contaminación del aceite de motores Otto en función del kilometraje recorrido.

Cuervo Velásquez, P. A. (2014) Análisis experimental del efecto del proceso de reperfilado sobre el desgaste y fatiga por contacto de rodadura de riel en el sistema rueda riel en el Metro de Medellín

De la Puente Viedma, C. (2018) Estadística descriptiva e inferencial. (1ª. Ed.). Madrid. Editorial IDT

Díaz del Castillo, F. (2007) Laboratorio de Tecnología de Materiales: Tribología: Fricción, Desgaste y Lubricación, de La Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.

Duffuaa, S., Raouf, A., Dixon, J. (2000). Sistemas de mantenimiento planeación y control (1ª. Ed.). México D.F: Editorial Limusa

Guevara, R. y Osorio, P. (2014). Desarrollar un Plan de Mantenimiento Preventivo para una Empresa Prestadora de Servicio de Transporte Interdepartamentales. Proyecto de Grado para optar al Título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla

Lavalle, Andrea Lina, Micheli, Elda Beatriz, & Rubio, Natalia. (2006). Análisis didáctico de regresión y correlación para la enseñanza media. Revista latinoamericana de investigación en matemática educativa, 9(3), 383-406. Recuperado en 14 de julio de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665- 24362006000300004&lng=es&tlng=en.

Lind, D., Marchal, W., & Wathen, S. (2015). Estadística aplicada a los negocios y a la economía (16a. ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.

García León, R. A., Acosta Pérez, M. A., & Flórez Solano, E. (2015). Análisis del comportamiento de los frenos de disco de los vehículos a partir de la aceleración del proceso de corrosión. Revista Tecnura, 19(45), 53-63. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015. 3.a04

Gordo, J. 2018. Importancia de un plan de mantenimiento estratégico en la gestión de activos. Recuperado de: https://blogespanol.se.com/gestion-de-la- infraestructura/2018/01/08/importancia-plan-mantenimiento-estrategico-la-gestion- activos/

Hernández Ávila, F. (2018) Efecto de la temperatura sobre las propiedades mecánicas y estructurales de elastómeros comerciales: Estimación de la degradación del polímero a largo plazo.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. & Baptista Lucio, P. (2010). Metodología de la Investigación: Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado y Pilar Baptista Lucio (5ª. Ed.). México D.F: McGraw-Hill.

Jauja Ramírez, M. A. (2017) Estudio experimental de la resistencia al desgaste abrasivo para depósitos con recubrimiento protector de soldadura, empleando el electrodo: E6-UM-60 (Clasificación DIN 8555), proceso SMAW.

Laín, C., Llamas, B., Pous, J., Laín, R. (2018). Nueva metodología empírica para la estimación del desgaste de los cortadores de una tuneladora. Informes de la Construcción, 70(549): e242. https://doi.org/10.3989/id.57716.

Medina Medina, J. H. (2016) Análisis y monitoreo del aceite lubricante en la anticipación de fallas de maquinaria pesada, como herramienta de mantenimiento proactivo.

Miranda, F. (2015) Estudio y Análisis Mecánico de un Freno Ferroviario. Proyecto de Fin de Carrera en Ingeniería Técnica Industrial de la Universidad Carlos III de Madrid.

MTC trasladó a más de medio millón de pasajeros en un día en la Línea 1 del Metro de Lima (13 de abril 2019). Recuperado de https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/27509-mtc- traslado-a-mas-de-medio-millon-de-pasajeros-en-un-dia-en-la-linea-1-del-metro-de-lima Quilca Tito, E. J. (2015). Relación De Las Deformaciones De Las Juntas Del Piso De Concreto Con El Desgaste Prematuro De Ruedas Motrices De Apiladores De Carga En Almacén SODIMAC Lima Perú 2015.

Quintana-Nicolás, A., Preciado-Calzada, M. (2016) "Estudio del desgaste de carriles en servicio y optimización de su mantenimiento". Rev. Metal. 52(4): e080. doi: http://dx.doi.org/10.3989/revmetalm.080

Siddharth Kalla (2011). Estudio correlacional. Jun 30, 2019 Obtenido de Explorable.com: https://explorable.com/es/estudio-correlacional

Tuesta Yliquin, J. M. (2014). Plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos pesados de la Empresa Obrainsa.

Tovar, G. (2006). *Fundamentos del análisis de falla*. Editorial ECC. Colombia.

Walpole, R., Myers, R., Myers, S. & Ye, K. (2012) Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. (9ª. Ed.). México: Pearson.

ANEXO1

Intervalo	Tipo de Kilometraje	Rango de Kilómetros
I1	A	[0, 50 000] kilómetros
I2	B	<50 000, 100 000] kilómetros
I3	C	<100 000, 150 000] kilómetros
I4	D	<150 000, 200 000] kilómetros
I5	E	<200 000, 250 000] kilómetros
I6	F	<250 000, 300 000] kilómetros
I7	G	<300 000, 350 000] kilómetros
I8	H	<350 000, 400 000] kilómetros
I9	I	<400 000, 450 000] kilómetros
I10	J	<450 000, 500 000] kilómetros
I11	K	<500 000, 550 000] kilómetros
I12	L	<550 000, 600 000] kilómetros
I13	M	<600 000, 650 000] kilómetros
I14	N	<650 000, 700 000] kilómetros
I15	O	<700 000, 750 000] kilómetros
I16	P	<750 000, 800 000] kilómetros

Intervalos de recorrido para frenos.

Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO2

Intervalo	Tipo de Kilometraje	Rango de Kilómetros
I1	A	[0, 75 000] kilómetros
I2	B	<75 000, 150 000] kilómetros
I3	C	<150 000, 225 000] kilómetros
I4	D	<225 000, 300 000] kilómetros
I5	E	<300 000, 375 000] kilómetros
I6	F	<375 000, 450 000] kilómetros
I7	G	<450 000, 525 000] kilómetros
I8	H	<525 000, 600 000] kilómetros
I9	I	<600 000, 675 000] kilómetros
I10	J	<675 000, 750 000] kilómetros

Intervalos de recorrido para ruedas.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 18

NOVAS METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÕES ACÚSTICAS — INFRASSONS E RUÍDO DE BAIXA FREQUÊNCIA

Data de aceite: 01/03/2022

Huub H.C. Bakker
Universidade Massey, Palmerston North, Nova Zelândia
ORCID: 0000-0001-5393-5115

Mariana Alves-Pereira
Universidade Lusófona, Lisboa, Portugal*
ORCID: 0000-0002-3416-0630

Richard Mann
Universidade de Waterloo, Ontário, Canadá
ORCID: 0000-0001-7172-2180

Rachel Summers
Universidade Massey, Palmerston North, Nova Zelândia

Philip Dickinson
Professor Catedrático de Acústica Aposentado, Auckland, Nova Zelândia

RESUMO: As diversas normas internacionalmente aceites para a medição do ruído não contemplam os infrassons (≤20 Hz) e o ruído de baixa frequência (20-100 Hz) (com a exceção da Federação Russa). A nova metodologia aqui apresentada tem sido utlizada desde 2016, maioritariamente para avaliar os ambientes acústicos em casas perto de centrais eólicas com: a) uma resolução temporal de 1-segundo em vez de médias de 10-minutos; b) uma resolução espectral de 1/36 de oitava em vez de 1/3 de oitava; e c) todos os valores dos níveis de pressão acústica em dB sem qualquer ponderação. Desta forma, é possível identificar a assinatura acústica da turbina eólica (série harmónica de picos de elevada energia acústica) que, apesar de ocorrer a frequências inferiores aos do limiar da audição humana (≤10 Hz) podem, mesmo assim, desencadear uma resposta biológica.

PALAVRAS-CHAVE: Turbinas eólicas, aerogeradores, sonogramas, 1/36 de oitava, assinatura acústica, saúde pública, ruído.

NEW METHODOLOGIES FOR ACOUSTIC EVALUATIONS — INFRASOUND AND LOW FREQUENCY NOISE

ABSTRACT: The various internationally accepted standards do not address infrasound (≤20 Hz) and low frequency noise (20-100 Hz) (with the exception of the Russian Federation). The new methodology presented here has been in use since 2016, mostly to assess acoustic environments in homes near wind power plants, with: a) a temporal resolution of 1-second instead of 10-min averages; b) a spectral resolution of 1/36 of an octave instead of 1/3 of an octave; and c) all sound pressure levels are in unweighted dB. In this way, it is possible to identify the acoustic signature of wind turbines (harmonic sequence of elevated peaks of acoustic energy) that, although occurring at frequencies below the threshold of human hearing (≤10 Hz) can nevertheless trigger a biological response.

KEYWORDS: Wind turbines, sonograms, 1/36th of an octave, acoustic signature, public health, noise.

INTRODUÇÃO

A exposição a ruído nocivo é, ainda hoje, um problema não resolvido, quer em meios laborais, quer em meios ambientais. Embora se reconheça que os níveis de ruído urbanos e ocupacionais tenham diminuído bastante durante os últimos 50 anos, a exposição ao ruído continua a ser um dos principais problemas das nossas sociedades modernas, confirmado pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 2011).

A perda de audição é uma das mais reconhecidas e bem estudadas consequências da exposição indevida ao ruído (KERR et al., 2017). Mas existem outras consequências biológicas, nomeadamente problemas do foro cardiovascular (DAVIES & KAMP, 2012; GAN et al., 2014; FERNANDES DE SOUZA et al., 2015; GIRARD et al., 2015; DZHAMBOV & DIMITROVA, 2016; BOLM-AUDORFF et al. 2020; WANG et al., 2021) e do foro cognitivo (BELOJEVIC, 2013; GOLMOHAMMADI et al., 2020).

Presentemente, a avaliação do ruído ambiental e ocupacional baseia-se numa premissa: "o que não se ouve, não faz mal". Esta premissa é falsa, cientificamente indefensável e, no entanto, condiciona todas as metodologias internacionalmente aceites para a medição do ruído. Isto restringe a relevância dos parâmetros acústicos apenas ao que é 'audível'. Consequentemente, a maior parte dos fabricantes dos equipamentos de avaliação de ruído apenas oferecem 'sonómetros' que permitem a recolha dos restritos parâmetros acústicos internacionalmente aceites, sem a possibilidade de alargar a gama de recolha de dados. Assim, durante décadas se vem medindo apenas uma pequena porção do ambiente acústico—a parte que se ouve—e considera-se irrelevante a restante energia acústica que possa estar presente, porque "o que não se ouve, não faz mal" (ALVES-PEREIRA 1999).

A Figura 1 mostra um exemplo de um ambiente acústico urbano, recolhido no campus da Universidade Lusófona, às 01:10, no dia 15 de agosto de 2017. Fazendo a análise dos dados recolhidos de acordo com os parâmetros internacionalmente aceites (média temporal de um segmento de 10 minutos, ponderação de frequência do tipo 'A', e resolução espectral em 1/3 de oitava – ver texto abaixo), visualmente se verifica que o que está a ser efetivamente avaliado é apenas uma pequena porção de todo o ambiente acústico (barras vermelhas). Toda a restante energia acústica que está presente (barras rosas) existe a níveis que são considerados irrelevantes para a saúde humana porque está abaixo do limiar de audição do ser humano — "o que não se ouve, não faz mal".

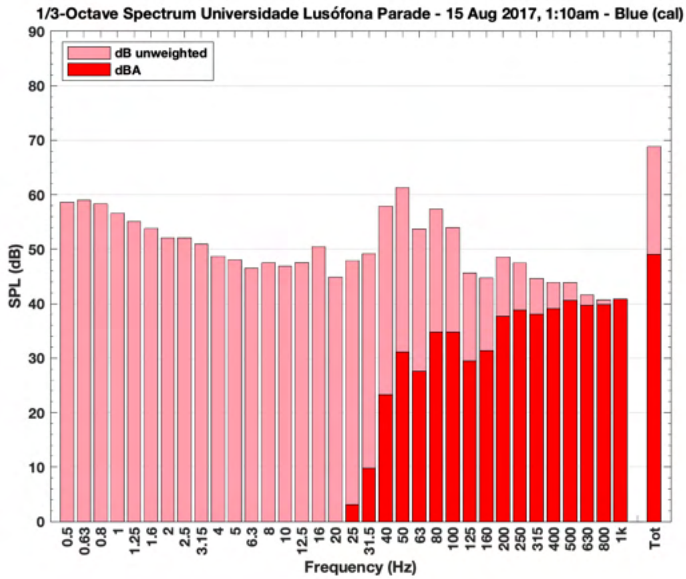


Figura 1: Ambiente acústico urbano, recolhido 15 de agosto de 2017 no campus da Universidade Lusófona no centro de Lisboa, às 01:10. Análise em 1/3 de oitava de uma média temporal de 10 minutos. As barras vermelhas indicam os valores recolhidos de acordo com a metodologia internacionalmente aceite (a parte audível, em dBA—ver texto). As barras rosas representam a energia acústica que, de facto, está presente neste ambiente (sem qualquer ponderação—ver texto).

A Figura 2 mostra o limiar da audição humana ao longo do espectro acústico, parcialmente explicando a razão de ser dos parâmetros acústicos internacionalmente aceites. Considera-se que os seres humanos ouvem na gama de frequências entre 20-20 000 Hz. Logo, exposições acústicas acima dos 20 000 Hz e abaixo dos 20 Hz são consideradas irrelevantes para a saúde humana.

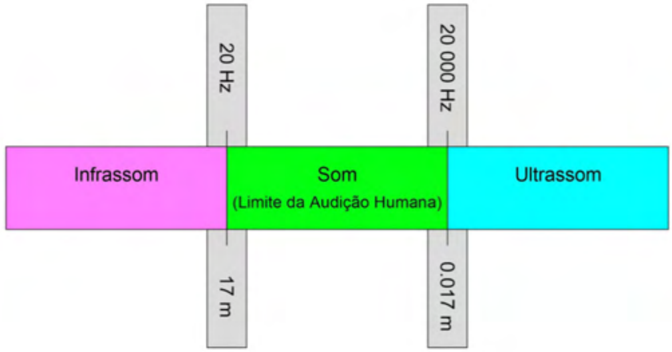


Figura 2: Segmentação do espectro acústico. Considera-se o limiar da audição humana entre 20 Hz e 20 000 Hz, correspondendo a um comprimento de onda de 17 m e 0.017 m, respetivamente.

A

B

C

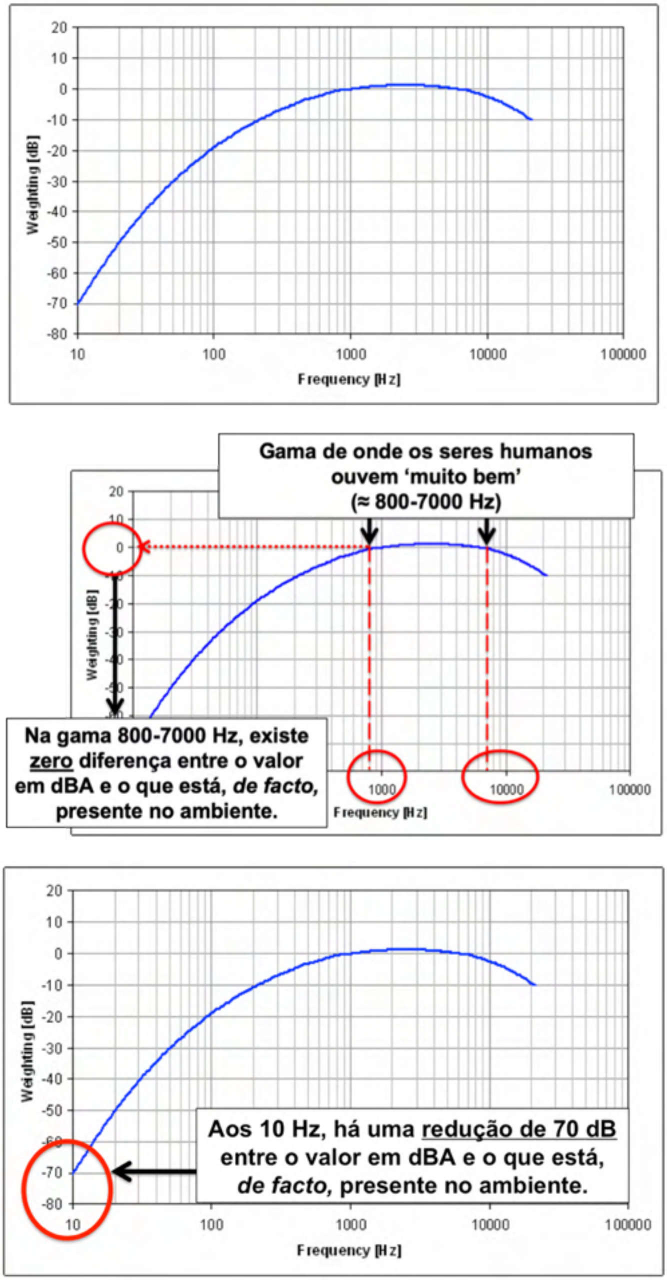


Figura 3: Curva de resposta da ponderação de frequência do tipo 'A'.

(A) Ao medir "em dBA" significa que o microfone tem um filtro que só o permite medir de acordo com o traçado da curva azul. Os valores captados pelo microfone estão restringidos a (ou limitados por) esta curva de ponderação 'A'.

(B) Correspondência da parte retilínea da curva com a gama de frequências e

com a ponderação imposta. A metodologia do 'dBA' quantifica corretamente a energia acústica nesta gama de frequências (cerca de 800—7000 Hz): há zero ponderação nos níveis de pressão acústica medidos nesta gama. A energia acústica que está a ser avaliada corresponde à que, de facto, lá está—ponderação zero.

(C) Ponderação imposta aos 10 Hz por esta metodologia. Existe uma discrepância (erro de medição) de 70 dB entre a energia acústica medida em dBA e a energia acústica que, de facto, está presente. Ao utilizar a metodologia do dBA aos 10 Hz, o valor da medição numérica obtida não reflete a realidade física.

Mas a audição humana não é linear e existe uma janela no espectro acústico onde o ouvido humano é mais sensível ao som: 800-7000 Hz. Por exemplo, o bebé humano chora aos 3500 Hz e a surdez profissional é avaliada aos 4000 Hz.

Assim, na década de 20-30 do século passado, determinou-se a curva da audição humana (curvas de Fletcher-Munson), selecionando esta gama de maior suscetibilidade sonora como foco para a proteção contra a exposição ao ruído ocupacional. Surge assim o parâmetro de medida – decibel com a ponderação 'A', ou, dBA (DICKINSON, 2006).

A Figura 3A mostra a curva de ponderação de frequência 'A'. Esta curva mostra que na gama dos 800—7000 Hz, a ponderação é zero (Figura 3B). Isto significa que, medindo com a ponderação 'A' nesta gama de frequências, o valor numérico obtido para a energia acústica corresponde, de facto, à quantidade que lá está. Mas, para avaliar a energia acústica presente a frequências fora desta gama, a ponderação 'A' não é apropriada. Como se salienta na Figura 3C, efetuando uma medição de energia acústica aos 10 Hz com a ponderação 'A', introduz um erro de medição de 70 dB.

A exposição a infrassons (≤20 Hz, ver Figura 2) e a ruído de baixa frequência (aqui considerado como sendo na gama de 20-100 Hz) pode ser nocivo à saúde humana, dependendo, essencialmente, do tempo de exposição e do recobro biológico. Este facto é reconhecido pela Federação Russa desde a década de 70 do século passado, altura a partir do qual passou a haver legislação contra infrassons naquela nação (STEPANOV, 2000). A Figura 4 reproduz os níveis permissíveis para infrassons em vigor no ano 2000.

Premise	Sound pressure levels, dB, in octaval bands of averaged geometric frequencies, Hz				General sound pressure level dB “Lin”
	2	4	8	16	
Different jobs inside industrial premises and production areas:					
- Different physical intensity jobs	100	95	90	85	100
- Different intellectual emotional tension jobs	95	90	85	80	95
Populated area	90	85	80	75	90
Living and public premises	75	70	65	60	75

Figura 4: Níveis permissíveis de exposição a infrassons, em vigor na Federação Russa no ano 2000. Salienta- se a segmentação do espectro acústico em 2, 4, 8 e 16 Hz, bem como a utilização de dB-Linear e a especificação para quatro ambientes humanos distintos: 2 ocupacionais, um ambiental e um residencial (STEPANOV, 2000).

Salientam-se vários aspetos:

- Valores em dB-Linear, isto é, sem qualquer ponderação
- Segmentação dos ‘infrassons’ em bandas de 2, 4, 8 e 16 Hz
- Valores diferentes para ambientes ocupacionais de grande intensidade física e para os de grande intensidade intelectual ou emocional.
- Valores diferentes para ambientes populacionais e ambientes residenciais.

Com surgimento de centrais eólicas a questão dos efeitos nocivos da exposição a infrassons tomou novos contornos: a preocupação com a saúde dos trabalhadores sujeitos a exposições ocupacionais (8 horas/dia, 5 dias/semana) agravou-se para a preocupação com a Saúde Pública, sujeita a exposições contínuas.

Durante muitos anos, a avaliação dentro de habitações localizadas perto de centrais eólicas foi efetuada com as metodologias internacionalmente aceites. A vasta maioria destas medições encontravam-se em conformidade com os valores internacionalmente aceites. Em geral, numa residência rural, os valores noturnos deverão ser cerca de ≤35 dBA, dependendo do país. No entanto, as pessoas vivendo nas habitações perto de centrais eólicas queixam-se de problemas de saúde e de anomalias comportamentais e orgânicas nos seus animais. Tragicamente, alguns investigadores consideram que estas famílias sofrem de patologia do foro psicossomático (CRICHTON et al., 2014).

O objetivo deste trabalho é dar a conhecer as novas metodologias de avaliação de infrassons, com resultados acústicos que podem justificar as queixas das pessoas que vivem perto de centrais de energia eólica.

MÉTODOS

Estes autores são membros do *International Acoustics Research Organization* (IARO, 2017) e trabalham em conjunto há 6 anos. Neste contexto, têm sido recolhidos dados acústicos em casas localizadas perto de centrais eólicas nos seguintes países: Alemanha, Austrália, Canadá, Dinamarca, Escócia, Eslovénia, França, Inglaterra, Irlanda, Irlanda do Norte, Nova Zelândia, Países Baixos e Portugal.

Os dados apresentados na secção dos Resultados foram recolhidos no sul da Escócia em 2020, dentro de uma casa localizada perto de várias centrais eólicas. Os microfones foram colocados no quarto do dormir, montados em tripés a cerca de 1.5 m do solo. Protetores de vento foram colocados sobre os microfones durante todo o período de aquisição de dados.

O equipamento de medição utilizado tem sido o *SAM Scribe Full Spectrum (FS) system*, modelos Mk1 (Figura 5A) e Mk2 (BAKKER et al., 2017). Os dois canais permitem a aquisição de dados em simultâneo por 2 microfones. O sistema grava com precisão as frequências acústicas na gama de 0.1—20 000 Hz, de acordo com a curva de resposta de frequência do fabricante dos microfones (PRIMO CO, Tóquio, Japão, Modelo: EM246ASS'Y) (Figura 5B). As gravações são armazenadas em ficheiros .wav (não-comprimido), em segmentos de 10-minutos. Estes ficheiros contêm meta-dados com informação da posição obtida por GPS e são digitalmente assinados.

(A) **(B)**



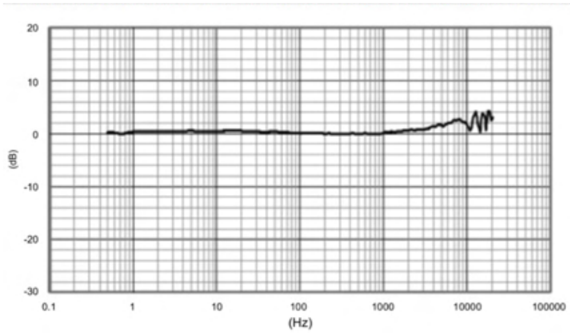


Figura 5: **(A)** Equipamento para a quantificação de infrassons e ruído de baixa frequência, SAM Scribe Full Spectrum (FS) system (Modelo Mk1) (BAKKER et al., 2017). **(B)** Curva de resposta do dB-Linear (sem ponderação) na gama de frequências de 0.5—1000 Hz. A ausência de qualquer ponderação permite a correta quantificação da energia acústica presente nesta gama de frequências (PRIME CO.).

As gravações (ficheiros .wav) foram detalhadamente analisadas na gama de frequências de 0.5 a 100 Hz. As gravações acústicas foram processadas pelo Matlab (The MathWorks, EUA), usando filtros digitais de banda estreita, em conformidade com as

normas ANSI® S1.11-2004 e IEC 61260:1995.

Os dados aqui apresentados serão sob a forma de sonogramas, abrangendo a gama de frequências de 0.5 a 1000 Hz, com uma resolução espectral de 1/36 de oitava e uma resolução temporal de 1-segundo, para cada segmento de gravação de 10-minutos. Paralelamente, os dados serão também apresentados sob a forma de periodogramas, em médias de segmentos de 10 minutos, com a identificação de tons e séries harmónicas que possam potencialmente existir nos diversos ambientes acústicos. Quer nos sonogramas, que nos periodogramas, os valores numéricos são expressos em dB sem qualquer ponderação.

As principais diferenças entre a avaliação feita pela equipa IARO e a que é feita pelos parâmetros internacionalmente aceites estão resumidas na Tabela 1, e prendem-se com a resolução temporal e espectral.

Parâmetro	Internacionalmente Aceite	IARO
Resolução Temporal	*Média de 10-minutos*	*Média de 1 segundo*
Resolução de Frequência	*1/3 de oitava*	*1/36 de oitava*
Ponderação de Frequência	*Ponderação ‘A’*	*Sem qualquer ponderação*

Tabela 1: Comparação dos diferentes parâmetros acústicos utilizados pela equipa IARO e os que são internacionalmente aceites.

RESULTADOS

As gravações acústicas foram efetuadas continuamente entre 29 de novembro e 6 de dezembro de 2020, em segmentos de 10 minutos. Para efeitos pedagógicos, selecionaram-se dois períodos de tempo onde os ambientes acústicos podem ser contrastados: 29 de novembro, das 15:28-15:38 (velocidade e direção do vento: 15.7 m/s, 125°), e 4 de dezembro, das 19:59-20:09 (velocidade e direção do vento: 44.7 m/s, 21°) (hora GPS).

A Figura 6A e 6B mostra os resultados analisados em 1/3 de oitava, de acordo com os parâmetros internacionalmente aceites, à semelhança da Figura 1. Verifica-se que os valores em dBA (i.e., com a ponderação A) estão em conformidade com a vasta maioria das legislações, sendo inferiores a 35 dBA (barras vermelhas). As barras rosas refletem a energia acústica presente nos ambientes (sem qualquer ponderação), mas que não é avaliada pelas metodologias internacionalmente aceites (pelos motivos acima descritos). Salienta-se a ausência de diferença significativa entre estes dois ambientes em termos dos parâmetros internacionalmente aceites (barras vermelhas), sendo os valores globais de 27 dBA para o dia 4 de dezembro (Fig. 6A) e de 22 dBA (Fig. 6B) para o dia 29 de novembro.

A Figura 6C e 6D mostra os mesmos dados numéricos, mas analisados com uma maior resolução temporal e espectral. O segmento de 10 minutos é agora analisado ao longo dos 600 segundos (abcissa) e a resolução espectral é de 1/36 de oitava.

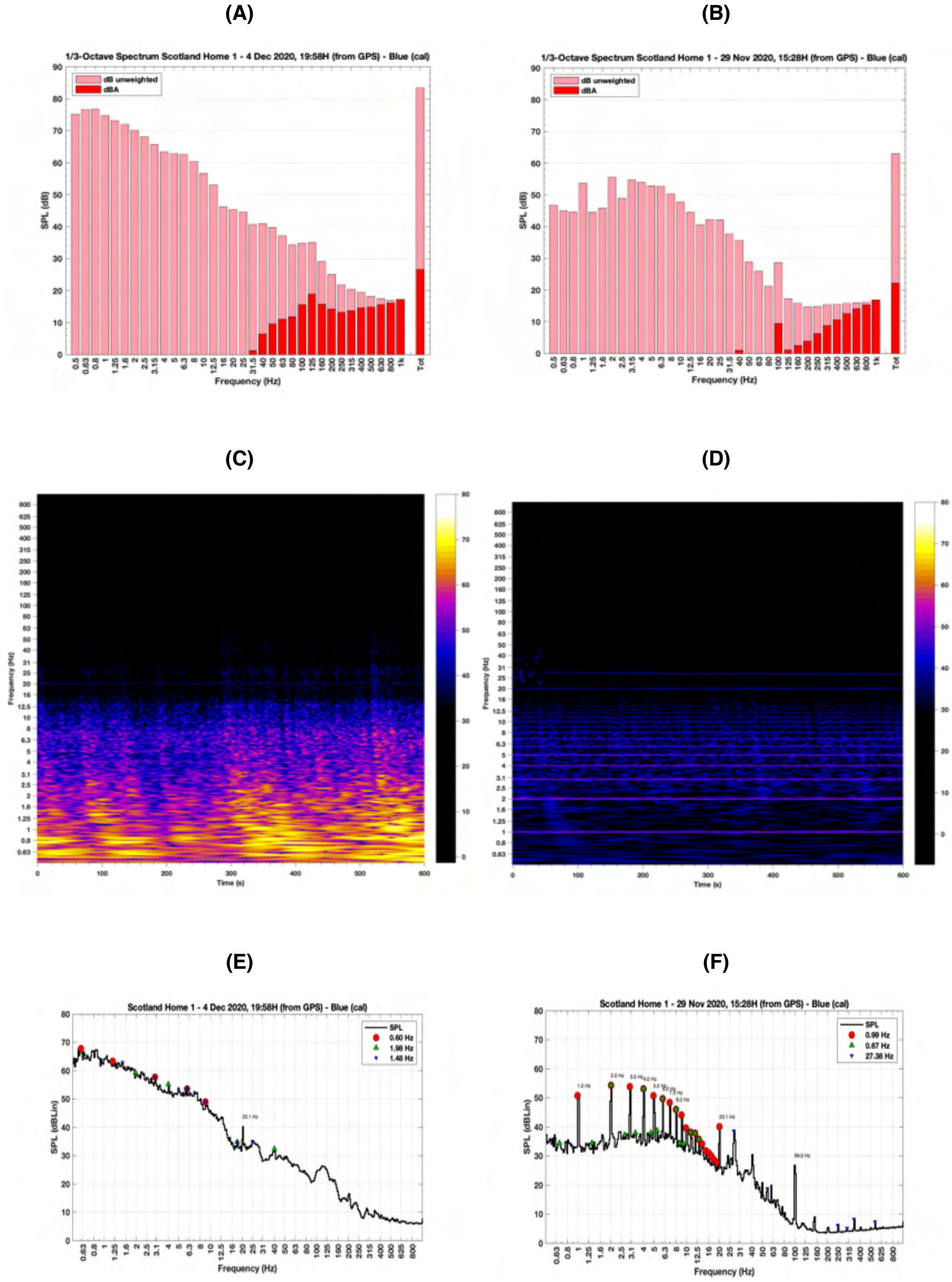


Figura 6: Comparação entre os ambientes acústicos num quarto de dormir de uma casa localizada perto de centrais eólicas na Escócia, no dia 4 de Dezembro às 19:59 e no dia 29 de Novembro, às 15:28.

(A) e **(B)** Análise em 1/3 de oitava de uma média temporal de 10 minutos, com a ponderação A (barras vermelhas) e sem qualquer ponderação (barras rosa).

(C) e **(D)** Sonogramas mostrado a variação da energia acústica ao longo de 600 segundos, com a análise espectral em 1/36 de oitava.

(E) e **(F)** Periodogramas da média temporal de 10-minutos, em resolução espectral de 1/36 de oitava, com as séries harmónicas assinaladas. (Ver texto.)

(ordenada). A quantidade de energia acústica presente é lida na escala de cores, em dB sem qualquer ponderação. Na Figura 6D observam-se linhas horizontais que atravessam todo o campo da imagem, e que estão ausentes na Figura 6C. Estas linhas refletem fenómenos acústicos que existem continuamente ao longo dos 10 minutos e com níveis de pressão acústica a cerca de 50 dB. Verifica-se também que estes fenómenos acústicos ocorrem a frequências infra sónicas, abaixo dos 10 Hz.

A Figura 6E e 6F mostra os correspondentes periodogramas. Na Figura 6F identificam-se picos de energia acústica e que são correspondentes às linhas horizontais observadas na Figura 6D. Na Figura 6E estes picos estão ausentes, tal como estão ausentes as linhas horizontais na Figura 6C.

A sequência de picos observada na Figura 6F (e 6D) matematicamente corresponde a uma séria harmónica, onde a frequência fundamental é a frequência de passagem das pás da turbina eólica (*blade-pass frequency*), uma especificação técnica da turbina e que varia consoante o modelo e o fabricante da máquina. Neste caso específico, a frequência fundamental é de 1 Hz, seguindo-se picos a 2, 3, 4 e 5 Hz. Esta sequência de picos de energia acústica, igualmente espaçados uns dos outros em frequência, reflete um encadeamento de pulsações em intervalos de 1-segundo e chama-se a *assinatura acústica da turbina eólica.*

Para quantificar a variação da proeminência destes picos, definiu-se um parâmetro ao qual se chamou P_{harm}, i.e., a proeminência mais elevada das harmónicas. A Figura 7 mostra como o valor das proeminências foram calculadas, atribuindo-se o valor em dB para a altura dos picos acima do ruído de fundo (proeminência). Assim, foi possível classificar as proeminências da assinatura acústica da turbina eólica pelo seu tamanho, segmentando-as em divisões de 5 dB, entre 0 e 40 dB. No caso aqui apresentado (Figura 6F), a maior proeminência está a 21 dB acima do ruído de fundo, na divisão 20-25 dB.

A Figura 8 mostra o resultado da contabilização do tamanho das proeminências presentes no quarto de dormir, consoante o dia e a hora, ao longo de todo o período de medição. Na vasta maioria do tempo está presente a assinatura acústica da turbina eólica, com as proeminências dos picos de energia acústica chegando aos 20-25 dB acima do nível de ruído de fundo.

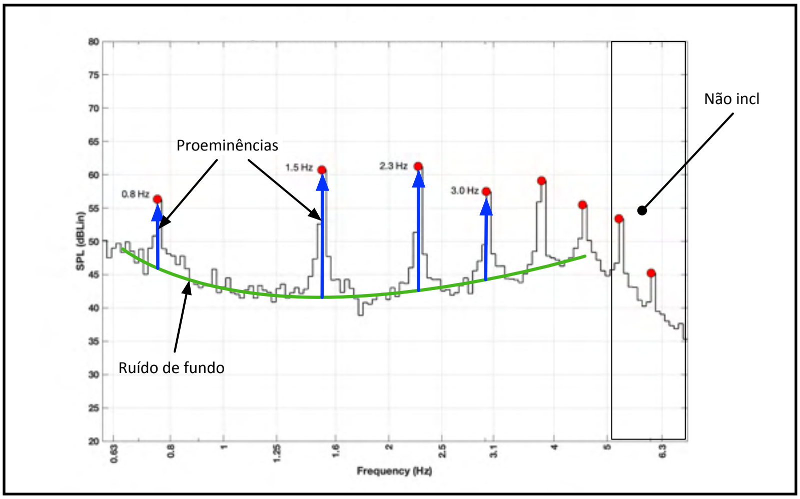


Figura 7: Nesta figura mostram-se, na gama inferior a 5 Hz, exemplos dos picos da assinatura acústica da turbina eólica (adquiridos a 29 de Julho de 2020, às 03:40, numa casa de habitação em Portugal) e que estão assinalados com círculos vermelhos. As setas azuis mostram o tamanho das proeminências (nível acima do ruído de fundo). Por exemplo, neste registo, houve uma proeminência de 10 dB aos 0.8 Hz e de 20 dB aos 1.5 Hz (ver setas indicando "Proeminências"), bem como uma de 20 dB aos 2.3 Hz e de 15 dB aos 3.0 Hz. O parâmetro P_{harm} corresponde à proeminência mais elevada num segmento de 10-min. Neste caso, o valor do P_{harm} será 20 dB.

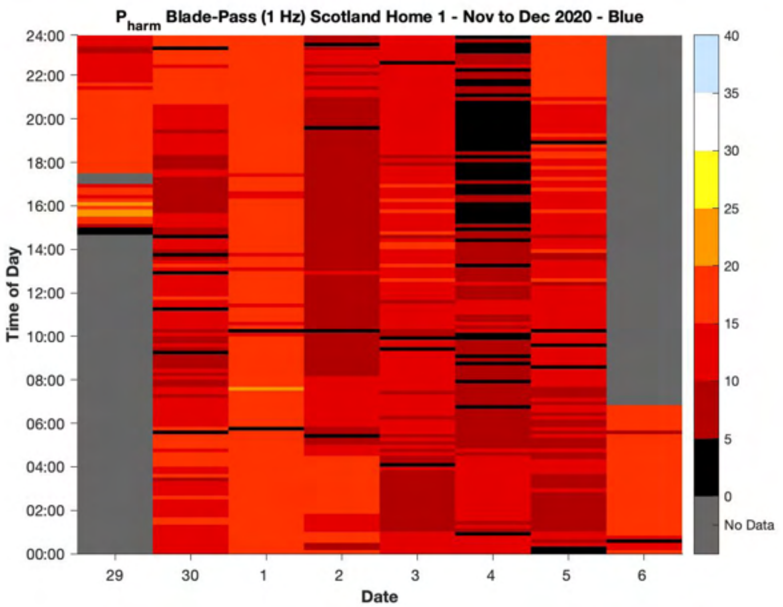


Figura 8: Variação do tamanho dos picos de energia acústica (i.e., das proeminências) observada na assinatura acústica da turbina eólica, em segmentos de 10-minutos, e ao longo de todo o período de medição de 29 de novembro a 6 de dezembro. Por exemplo, no dia 1 de dezembro, por volta das 08:00, observa-se uma barra laranja, correspondendo à existência de proeminências entre 20-25 dB acima do ruído de fundo.

DISCUSSÃO

A assinatura acústica da turbina eólica ocorre a frequências inferiores às do limiar da audição humana, segundo os conceitos clássicos. Logo, de acordo com alguns investigadores fundamentados na (falsa) premissa "o que não se ouve não faz mal", os fenómenos acústicos gerados por turbinas eólicas não têm qualquer efeito sobre a saúde humana. No entanto, as pessoas que vivem nestas casas queixam-se. A título de exemplo, a impressa alemã publicou vários artigos sobre uma destas famílias (KAEDING, 2014; WETZEL, 2015; e JUNG, 2016). Os estudos da equipa IARO incluem diários de sintomas elaborado pelos habitantes das casas contaminadas com infrassons, enquanto decorre a aquisição de dados acústicos. Estes têm demonstrado que há uma forte correspondência entre a manifestação de sintomas (incluindo a incapacidade de dormir e a necessidade de tomar medicação-benzodiazepinas) e o tamanho das proeminências da assinatura acústica da turbina eólica (ALVES-PEREIRA et al., 2022).

Os efeitos dos infrassons sobre a saúde não é novidade científica (ALVES-PEREIRA et al., 2019). Em 1973, o Conselho Nacional de Investigação Científica da França organizou um colóquio sobre infrassons e que contou com a presença de investigadores Europeus, dos Estados Unidos e da União Soviética (STEPANOV, 2000). Em 1978, investigadores Franceses demonstraram que a exposição a infrassons influenciava negativamente a performance de ratos geneticamente surdos (BUSNEL & LEHMANN, 1978). Nos anos 1980 a 2015, estudos em meios laborais identificaram uma patologia induzida pela exposição a este tipo de agressor acústico, chamada a doença vibroacústica (CASTELO BRANCO, 1999; CASTELO BRANCO & ALVES-PEREIRA, 2006). Os sinais clínicos desta doença profissional foram posteriormente identificados numa família habitando perto de centrais eólicas (ALVES-PEREIRA et al., 2007; CASTELO BRANCO et al., 2015). Presentemente, são os cientistas Chineses que mais estudos fazem nesta área, dentro do contexto de exposições ocupacionais (ZHANG et al., 2016; SHI et al., 2018, por exemplo), ou no contexto de terapias pós-exposição (CAI et al., 2014, por exemplo).

A hipótese que sugere que a origem das queixas destes habitantes é do foro psicossomático é, desde logo, posto em causa pelos estudos efetuados em animais que também vivem perto de centrais eólicas (AGNEW et al., 2016, por exemplo). Com os dados aqui apresentados, entende-se como pode ter surgido a hipótese do "efeito nocebo" (CRICHTON et al., 2014). Na realidade, comparando os ambientes acústicos dos dias 4 de dezembro e 29 de novembro (Figura 6A e B), verifica-se que os níveis globais são de 27 dBA e 22 dBA, respetivamente. Se as pessoas se queixam de mal-estar enquanto no ambiente acústico da Figura 6B, mas não se queixam quando no ambiente da Figura 6A então, talvez, não seja de todo descabido propor uma origem psicossomática para os sintomas sentidos. No entanto, como é demonstrado na Figura 6C e D, existem fenómenos acústicos que não são detectados pelas metodologias internacionalmente aceites, mas que

coincidem temporalmente com a manifestação das queixas dos habitantes.

CONCLUSÕES

As metodologias internacionalmente aceites para a avaliação do ruído são insuficientes para a proteção da Saúde Pública. Aumentando a resolução temporal e espectral das avaliações acústicas, e sem a aplicação de qualquer ponderação, são revelados fenómenos acústicos com relevância biológica.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o contributo imprescindível do Dr. Bruce I. Rapley e da Soundscape Analytics.

REFERÊNCIAS

AGNEW RCN, SMITH VJ, FOWKES RC. **Wind turbines cause chronic stress in badgers (*meles meles*) in Great Britain**. Journal of Wildlife Diseases, 53:459-67, 2016**.** https://doi.org/10.7589/2015-09-231

ALVES-PEREIRA M. **Noise-induced extra aural pathology. A review and commentary.** Aviation, Space and Environmental Medicine, 70 (Suppl.): A7-A21, 1999.

ALVES-PEREIRA M, CASTELO BRANCO, NAA. **In-home wind turbine noise is conducive to vibroacoustic disease.** Proceedings 2nd International Meeting on Wind Turbine Noise, Lyon, France, Sep 20-21, Paper No. 3, 11 pages, 2007.

ALVES-PEREIRA M, RAPLEY B, BAKKER HHC, SUMMERS R. **Acoustics and Biological Structures** IN: Acoustics of Materials. Abiddine ZE, Ogam E (editors). IntechOpen, London, 2019. doi: 10.5772/intechopen.82761.

ALVES PEREIRA M, BAKKER NCC, MANN R, SUMMERS R, DICKINSON P. **Sleep disruption and industrial wind turbines**. Em processo de peer-review, 2022.

CASTELO BRANCO NAA. **The clinical stages of vibroacoustic disease**. Aviation, Space and Environmental Medicine 70 (Suppl.): A329, 1999.

CASTELO BRANCO NAA, ALVES-PEREIRA M. **A doença vibroacústica**. Revista Segurança, XLI: 1-20, 2006.

CASTELO BRANCO NAA, ALVES-PEREIRA M, MARTINHO PIMENTA A, REIS FERREIRA J. **Low frequency noise-induced pathology: contributions provided by the Portuguese wind turbine case**. Proceedings Euronoise 2015, Maastricht, The Netherlands, 31 May-3 Jun, 5 pages, 2015.

BAKKER HCC, RAPLEY BI, SUMMERS SR, ALVES-PEREIRA M, DICKINSON PJ. **An affordable recording instrument for the acoustical characterisation of human environments.** Proceedings International Conference Biological Effects of Noise (ICBEN 2017). 18-22 June, Zurich, Switzerland, No. 3654, 12 pages, 2017.

BELOJEVIC G. **Noise and performance: Research in Central, Eastern and South-Eastern Europe and Newly Independent States.** Noise & Health 15:2-5, 2013. doi: 10.4103/1463-1741.107146.

BOLM-AUDORFF U, HEGEWALD J, PRETZCH A, FREIBERG A, NIENHAUS A, SEIDLER A. **Occupational noise and hypertension risk: A systematic review and meta-analysis.** International Journal of Environmental Research and Public Health 17:6281 (25 pages), 2020. doi:10.3390/ijerph17176281.

BUSNEL RG, LEHMANN AG. **Infrasound and sound: Differentiation of their psychophysiological effects through use of genetically deaf animals.** Journal of the Acoustical Society of America, 63:974-77, 1978.

CAI J, KING D, SHI M, LIU Y, LIN T, XIE Z, ZHU Y, ZHAO H, SHI X, DU F, ZHAO G. **Epigallocatechin gallate (EGCG) attenuates infrasound-induced neuronal impairment by inhibiting microglia-mediated inflammation**. Journal of Nutrition and Biochemistry, 25:716-25, 2014. doi: 10.1016/j.jnutbio.2014.02.012

CRICHTON F, CHAPMAN S, CUNDY T, PETRIE KJ. **The Link between Health Complaints and Wind Turbines: Support for the Nocebo Expectations Hypothesis**. Frontiers of Public Health, 2: Article 220, 2014. doi: 10.3389/fpubh.2014.00220

DAVIES H, VAN KAMP I. (2012). **Noise and cardiovascular disease: A review of the literature 2008-2011**. Noise & Health 14:287-91, 2012. doi:10.4103/1463-1741.104895.

DICKINSON PJ. **Changes and challenges in environmental noise measurement**. Acoustics Australia, 34(3): 125-9, 2006.

DZHAMBOV AM, DIMITROVA DD. **Occupational noise and ischemic heart disease: A systematic review.** Noise & Health 18:167-77, 2016. doi: 10.4103/1463-1741.189241.

FERNANDES DE SOUZA TC, SANTOS PÉRISSÉ AR, MOURA M. **Noise exposure and hypertension: Investigation of a silent relationship.** BMC Public Health 15:328 (14 pages), 2015. doi:10.1186/s12889-015-1671-z.

GAN WQ, DAVIES HW, DEMERS PA. **Exposure to occupational noise and cardiovascular disease in the United States: The National Health and Nutrition Examination Survey 1999-2004**. Occupational and Environmental Medicine 68:183-90, 2014. doi:10.1136/oem.2010.055269.

GIRARD SA, LEROUX T, VERREAULT R, COURTEAU M, PICARD M, TURCOTE F, BARIL J, RICHER O. **Cardiovascular disease mortality among retired workers chronically exposed to intense occupational noise.** International Archives of Occupational and Environmental Health 88:123-30, 2015. doi:10.1007/s00420-014-0943-8.

GOLMOHAMMADI R, DARVISHI E, FARADMAL J, POOROLAJAL J, ALIABADI M. **Attention and short-term memory during occupational noise exposure considering task difficulty**. Applied Acoustics 158:107065 (9 pages), 2020. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.107065

IARO. **International Acoustics Research Organization**, 2017. Esta Organização Internacional de Investigação em Acústica, fundada em 2017, é formada por um grupo internacional de cientistas, cujo objetivo é caracterizar ambientes acústicos, investigar e identificar os atributos que possam afetar a saúde dos seres humanos e dos animais, e publicar os resultados. A IARO detém a aprovação ética para o CSI-ACHE (Citizen Science Initiative into Acoustical Characterization of Human Environments) cujos resultados estão publicamente disseminados. https://iaro.org.nz

JUNG, F. [**In Nordfriesland - The couple complains: 'Wind turbines make us sick'**]. Schleswig Holstein Zeitung, 02 Janeiro 2016. https://www.shz.de/deutschland-welt/politik/ehepaar-klagt-windraeder-%20machen-uns- krank-id12344191.html.

KAEDING, E.F. [**The curse of repowering – A long descent**]. Die Tageszeitung, 21 Setembro 2014. https://www.taz.de/Archiv-Suche/!5032786&s=hogeveen/.

KERR MJ, NEITZEL RL, HONG OS, SATALOFF RT. **Historical review of efforts to reduce noise-induced hearing loss in the United States.** American Journal of Industrial Medicine 60:569-77, 2017. doi:10.1002/ajim.22627.

ORGANIZAÇÃO MUNIDAL DA SAÚDE. **Burden of disease from environmental noise - Quantification of healthy life years lost in Europe.** WHO-Europe, Copenhagen, 2011.

PRIME CO, Tóquio, Japão. **Curva de resposta dos microfones condensador Electret, modelo EM246ASS'Y**. Especialmente concebidos para quantificar infrassons e ruído de baixa frequência.

SHI YJ, SHI M, XIAO LJ, LI L, ZOU LH, LI CY, et al. **Inhibitive effects of FGF2/ FGFR1 pathway on astrocyte-mediated inflammation in vivo and in vitro after infrasound exposure.** Frontiers in Neuroscience. 12:582, 2018. doi: 10.3389/fnins.2018.00582

STEPANOV V. **Biological effects of low frequency acoustic oscillations and their hygienic regulation**. Centro de Investigação Estatal da Federação Russa: Moscovo, 2000. https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a423963.pdf

WANG D, XIAO Y FENG X, WANG B, LI W, HE M, ZHANG X, YUAN J, YI G, CHEN Z, DAI X, WU J, CHEN W. **Association of occupational noise exposure, bilateral hearing loss with atherosclerotic cardiovascular disease risk in Chinese adults.** International Journal of Hygiene and Environmental Health 235:113776 (6 pages), 2021. https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113776.

WETZEL, D. [**Energy Danish Debate - Does the infrasound of wind turbines make you sick?**]. Die Welt, 02 Março 2015. https://www.welt.de/wirtschaft/energie/article137970641/Macht-der-Infraschall-von-Windkraftanlagen- krank.html.

ZEYDABADI A, ASKARI J, VAKILI M, MIRMOHAMMADI SJ, GHOVVEH MA, MEHRPARVAR AH. **The effect of industrial noise exposure on attention, reaction time, and memory.** International Archives of Occupational and Environmental Health 92:111-16, 2019. https://doi.org/10.1007/s00420-018-1361-0.

ZHANG MY, CHEN C, XIE XJ, XU SL, GUO GZ, WANG J. **Damage to hippocampus of rats after being exposed to infrasound**. Biomedical and Environmental Sciences, 29: 435-442, 2016. doi: 10.3967/bes2016.056

CAPÍTULO 19

PROPAGAÇÃO DE ONDAS EM UM CRISTAL FONÔNICO COM DEFEITOS

Data de aceite: 01/03/2022
Data de submissão: 10/01/2022

Hélio Vitor Cantanhede da Silva
Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP-FEM-DMC
Campinas, SP, Brasil
http://lattes.cnpq.br/1510747919323200

Hudson Douglas Silva Morais
Universidade Federal do Maranhão, UFMA-CCET-CCEM
São Luís, MA, Brasil
http://lattes.cnpq.br/2992132162467844

Edson Jansen Pedrosa de Miranda Júnior
Instituto Federal do Maranhão, IFMA-EIB-DE
Instituto Federal do Maranhão, IFMA-PPGEM
São Luís, MA, Brazil
http://lattes.cnpq.br/9782653543954493

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo a modelagem de um cristal fonônico com defeitos. Para isso, foi utilizado o método dos elementos finitos para obtenção dos diagramas de dispersão. Inicialmente, foi feita a validação dos diagramas de dispersão obtidos com os resultados encontrados na literatura. Em seguida, o cristal fonônico foi modelado inserindo-se uma inclusão dentro do defeito central do cristal fonônico. Essa inclusão possui propriedades diferentes do cristal fonônico, com isso, notou-se a presença de bandas proibidas devido à presença dessa partícula no cristal fonônico, viabilizando assim a análise quanto a sua presença.

PALAVRAS-CHAVE: Cristais fonônicos, defeitos, método dos elementos finitos.

WAVE PROPAGATION IN A PHONONIC CRYSTAL WITH DEFECTS

ABSTRACT: This paper aims to model a phononic crystal with defects. For this, the finite element method was used to obtain the dispersion diagrams. Initially, the obtained dispersion diagrams were validated with the results found in the literature. Next, the phononic crystal was modelled by inserting an inclusion inside the central defect of the phononic crystal. This inclusion has different properties from the phononic crystal, with this, it was noted the presence of forbidden bands due to the presence of this particle in the phononic crystal, enabling the analysis of its presence.

KEYWORDS: Phonomic crystal, defects, finite element method.

1 | INTRODUÇÃO

Os cristais fonônicos (CFs) consistem em arranjos periódicos de inclusões embutidas em uma matriz. São novos materiais compósitos que podem interagir, manipular, proibir e transmitir a propagação de ondas mecânicas. Recentemente, grandes esforços têm sido dedicados ao estudo desses novos materiais para serem usados em muitas aplicações potenciais de engenharia (ALY *et al*, 2019). Pode-se, por exemplo, citar as aplicações em isolamento de ruído e vibração, guia de ondas acústicas, filtros acústicos etc (HLADKY, 2013).

Devido à sua estrutura periódica e à ressonância, os CFs podem exibir bandas proibidas (*band gaps*) que resultam tanto do espalhamento de Bragg quanto de ressonâncias locais, respectivamente. Em particular, ambos os tipos de *band gaps* podem ser encontrados em um cristal fonônico, desde que os parâmetros geométricos e as propriedades dos materiais constituintes sejam escolhidos adequadamente (JIN, 2016).

Neste artigo, estudou-se a formação dos *band gaps* e como os modos de onda se comportam para um nano cristal fonônico que está no estado plano de tensões (apenas os modos XY são analisados neste trabalho). Na primeira parte, são apresentados os resultados para o CF sem defeitos. Na segunda parte, são analisados os efeitos da presença de uma inclusão inserida no defeito central do CF. Notou-se que a presença dessa inclusão influencia na criação de *band gaps* em determinadas faixas de frequências. A inclusão inserida possui diferentes propriedades elásticas em relação à matriz do CF. Essa investigação mostra-se como um potencial estudo para diversas aplicações que usam CFs com defeito (SHAO *et al*, 2020 ; JO *et al*, 2020; ALY *et al, 2017*).

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A modelagem dos nanocristais fonônicos de duas dimensões (2D) foi feita a partir da teoria da elasticidade linear, usando para isso o estado plano de tensões, isto é, quando a tensão produzida em um elemento estrutural ou mecânico pode ser analisada em um único plano, como ilustrado na Fig. 1. Foram ignorados na modelagem os efeitos de tamanho nanométrico. Para realizar a simulação numérica, foi utilizado o método dos elementos finitos (MEF) através do *software* COMSOL, onde todas as simulações foram realizadas, considerando-se um CF com periodicidade 2D, com rede quadrada, contendo inclusões cilíndricas em sua estrutura.

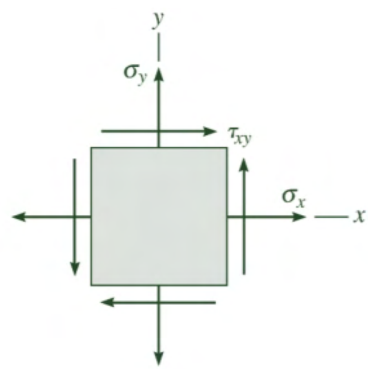


Fig. 1 - Modelo representativo de um estado plano de tensão em um elemento estrutural.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise dos cristais fonônicos sem e com a presença da inclusão no defeito central, plotou-se os diagramas de dispersão e os modos de onda para os modelos considerados nas Figs. 2 e 4, respectivamente. As malhas de MEF usadas nas análises são apresentadas nas Figs. 3 e 5.

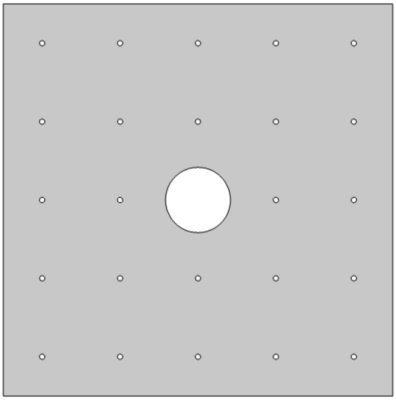


Fig. 2 - Modelo de cristal fonônico sem inclusão na região central.

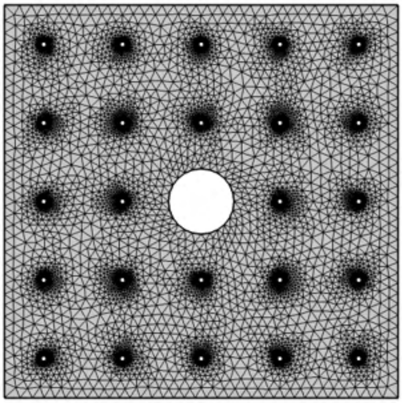


Fig. 3 - Malha de elementos finitos usada para a análise do cristal fonônico sem inclusão cilíndrica na região central.

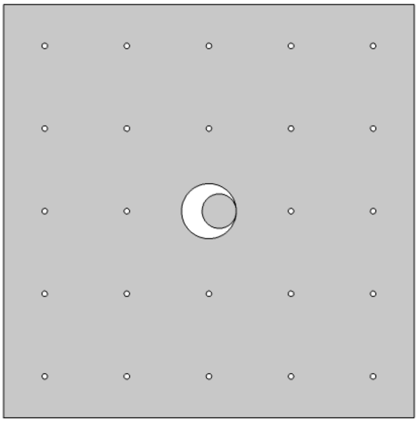


Fig. 4 - Modelo de cristal fonônico com inclusão cilíndrica na região central.

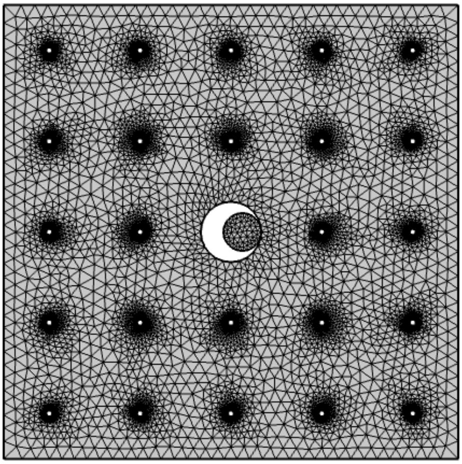


Fig. 5 - Malha de elementos finitos usada para a análise do cristal fonônico com inclusão cilíndrica na região central.

As propriedades dos materiais usados para a análise estão listadas na Tabela 1 e as propriedades geométricas do cristal fonônico são mostradas na Tabela 2.

Propriedades do cristal fonônico	**Módulo de Elasticidade**	**Densidade**	**Razão de Poisson**
Silício (matriz)	190 GPa	2330 kg/m³	0,23
Polietileno (inclusão)	0,72 GPa	935 kg/m³	0,43

Tabela 1: Propriedades dos materiais usados para a análise do cristal fonônico e da inclusão central.

Dimensão	Tamanho
Comprimento	6000 nm
Largura	6000 nm
Diâmetro dos círculos menores	80 nm
Diâmetro do círculo central	800 nm
Diâmetro da partícula (inclusão)	500 nm

Tabela 2: Propriedades geométricas para a análise do cristal fonônico e da inclusão central.

Para a análise das curvas de dispersão do cristal fonônico, considerou-se somente a parte real do número de onda, ou seja, estão sendo consideradas somente as ondas propagantes, além disso, o estudo para avaliar a resposta de frequência de um cristal fonônico requer simplesmente uma análise da célula unitária periódica, com as condições de contorno periódicas de Floquet-Bloch abrangendo uma gama de vetores de onda. É suficiente para abranger uma faixa relativamente pequena de vetores de onda cobrindo as bordas da chamada zona irredutível de Brillouin (IBZ). Para estruturas retangulares 2D, o IBZ (mostrado na Fig. 6) se estende de Γ a X a M e então de volta a Γ. Neste trabalho, 0 a 1 define um número de onda que abrange a borda Γ-X, 1 a 2 define um número de onda que abrange a borda X-M e 2 a 3 define um número de onda que abrange a borda diagonal M-Γ da IBZ.

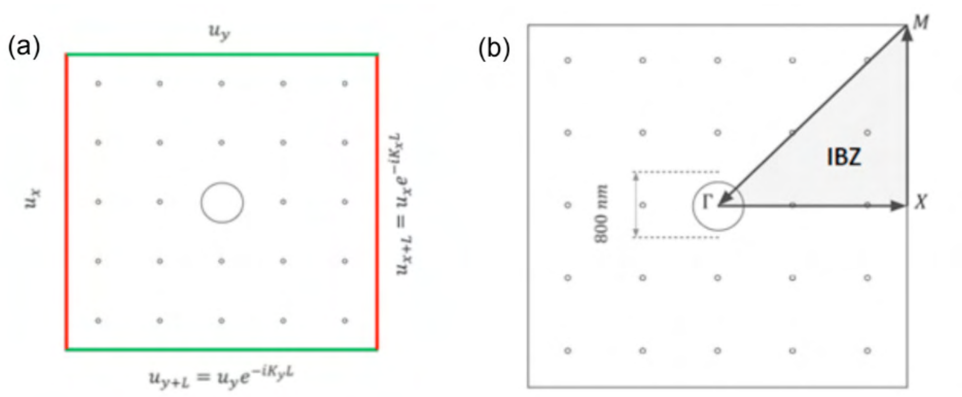


Fig. 6 – (a) Condições periódicas de contorno de Floquet-Bloch e (b) a primeira zona de Brillouin irredutível para estruturas periódicas quadradas 2D.

Na Fig. 7 pode-se observar a curva de dispersão para o caso do cristal fonônico sem a presença da inclusão cilíndrica na região central, já na Fig 8 é notada uma modificação na curva de dispersão quando a inclusão é inserida na região central.

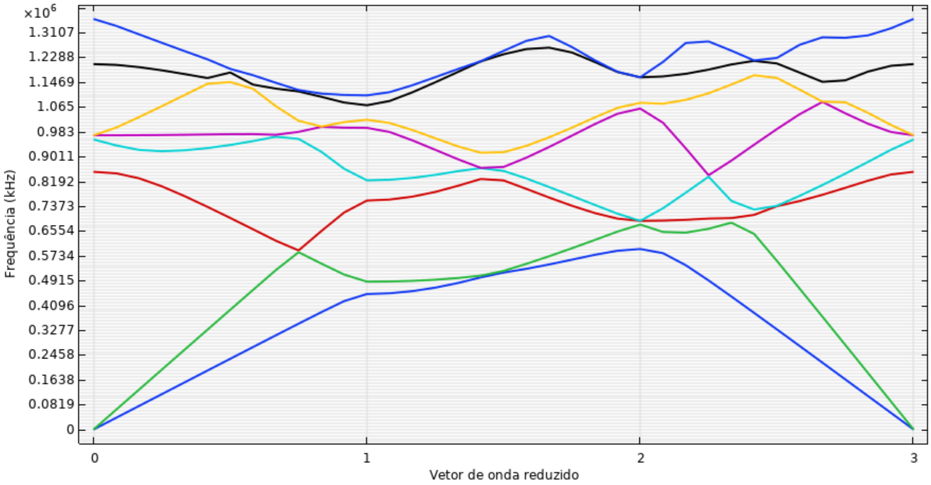


Fig. 7 - Diagrama de dispersão para o caso do cristal fonônico sem a presença da inclusão cilíndrica na região central.

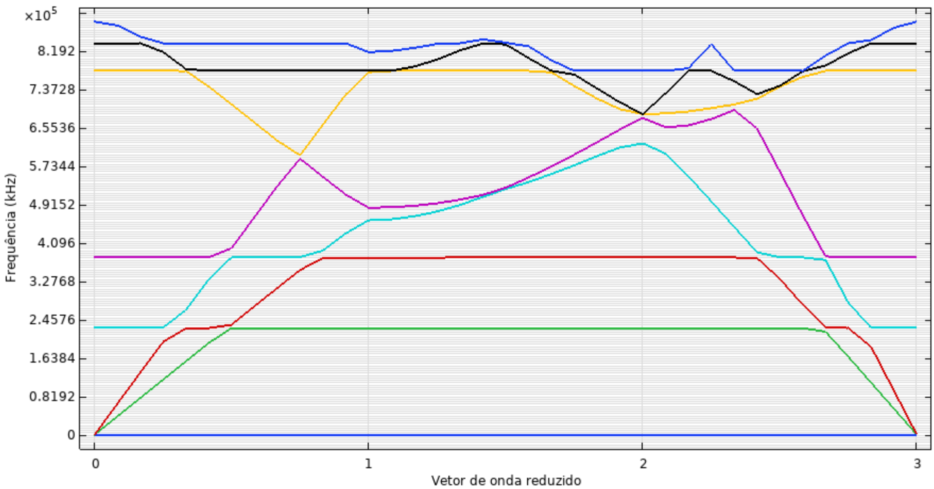


Fig. 8 - Diagrama de dispersão para o caso do cristal fonônico com a presença da inclusão cilíndrica na região central.

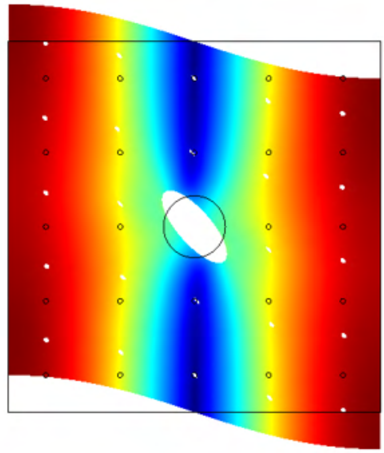


Fig. 9 - Modo de onda para o cristal fonônico sem a presença da inclusão no defeito central, para a frequência de 0,45 GHz na região k=1 do diagrama de dispersão.

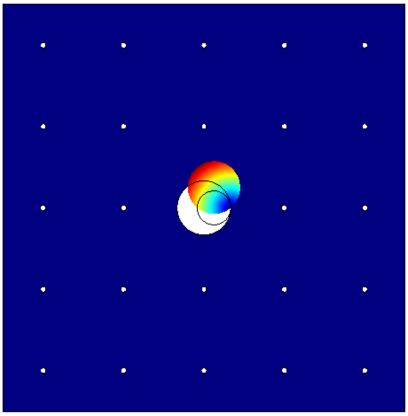


Fig. 10 - Modo de onda para o cristal fonônico com a presença da inclusão no defeito central, para a frequência próxima de 0 Hz na região k=1 do diagrama de dispersão.

A partir da análise dos diagramas de dispersão e dos modos de onda, percebe-se a influência da presença da partícula no surgimento de *band gaps* em determinadas faixas de frequência. Pode-se observar a presença de *flat bands* que são regiões de frequência sem dispersão na estrutura de banda, que correspondem a modos localizados e que também apresentam velocidade de grupo zero. Nota-se também que, com a presença da inclusão (Fig. 10), há somente propagação de onda naquela partícula, enquanto na matriz do cristal fonônico não há propagação de ondas. No entanto, para o caso da estrutura sem a partícula (Fig. 9), nota-se que todo o cristal fonônico está sob o efeito de propagação de onda.

4 I CONCLUSÕES

Foi feita a modelagem de um cristal fonônico com defeito e com a presença de uma inclusão no defeito central. Pode-se observar que a presença de uma inclusão no interior do defeito central do cristal fonônico modifica as propriedades de propagação de ondas no cristal fonônico, criando os *band gaps* e as *flat bands* em certas faixas de frequência, e como o cristal fonônico se comporta em determinados modos de onda.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as agências de fomento brasileiras CAPES (Código de Financiamento 001), CNPq (*Grant Reference Numbers* 140783/2017-2, 313620/2018 e 151311/2020-0), FAPEMA (*Grant Reference Numbers* 00857/19, 02730/19, 00824/20, 00133/21, 02558/21 e 02559/21), FAPESP (*Grant Reference Number* 2018/15894-0).

REFERÊNCIAS

ALY, Arafa H.; MEHANEY, Ahmed. Phononic Crystals and Thermal Effects. In: Photonic Crystals-A Glimpse of the Current Research Trends. IntechOpen, 2019.

ALY, Arafa H.; MEHANEY, Ahmed. Phononic crystals with one-dimensional defect as sensor materials. Indian Journal of Physics, v. 91, n. 9, p. 1021-1028, 2017.

HLADKY-HENNION, A.C. Phononic crystal (PC) applications of ATILA. In: Applications of ATILA FEM Software to Smart Materials. Woodhead Publishing, 2013. p. 190-203e.

JIN, Yabin et al. Phononic crystal plate with hollow pillars actively controlled by fluid filling. Crystals, v. 6, n. 6, p. 64, 2016.

JO, Soo-Ho et al. A graded phononic crystal with decoupled double defects for broadband energy localization. International Journal of Mechanical Sciences, v. 183, p. 105833, 2020.

SHAO, Hanbo et al. Study on the band gap optimization and defect state of two-dimensional honeycomb phononic crystals. Journal of Materials Research, v. 35, n. 21, p. 3021-3030, 2020.

CAPÍTULO 20

OBTENÇÃO DE VARIÁVEIS TÉRMICAS DE SOLIDIFICAÇÃO E ANÁLISE DE MICROESTRUTURA DA LIGA DE ALPACA 2 C/ PB

Data de aceite: 01/03/2022
Data de submissão: 19/01/2022

Márcio Valério Rodrigues de Mattos
Instituto Federal de São Paulo
São Paulo – SP
http://lattes.cnpq.br/1894733442669273

Rogério Teram
Instituto Federal de São Paulo
São Paulo – SP
http://lattes.cnpq.br/4022090335939212

Maurício Silva Nascimento
Instituto Federal de São Paulo
São Paulo – SP
http://lattes.cnpq.br/0654610769101785

Vinicius Torres dos Santos
Termomecanica São Paulo S.A
São Bernardo do Campo – SP
http://lattes.cnpq.br/5999855342195422

Marcio Rodrigues da Silva
Termomecanica São Paulo S.A
São Bernardo do Campo – SP
http://lattes.cnpq.br/8275374225297308

Antonio Augusto Couto
Universidade Presbiteriana Mackenzie
São Paulo – SP
http://lattes.cnpq.br/2893737202813850

Givanildo Alves dos Santos
Instituto Federal de São Paulo
São Paulo – SP
http://lattes.cnpq.br/0046237693009702

RESUMO: O objetivo deste trabalho é determinar experimentalmente as variáveis térmicas de solidificação e analisar a microestrutura da liga Alpaca 2 c/ Pb, obtida após a solidificação unidirecional ascendente. A liga foi solidificada em uma lingoteira de aço inoxidável AISI 304 montada em um dispositivo de resfriamento unidirecional ascendente. O calor foi extraído direcionalmente através de refrigeração por água na chapa base fabricada em grafite.. As variáveis térmicas de solidificação velocidade de deslocamento da isoterma *liquidus* (V_L), taxa de resfriamento (T_R) e gradiente térmico (G_L) foram avaliadas em função da distância da superfície de extração de calor. A microestrutura foi analisada por meio de microscopia óptica (MO). Como resultado, observou-se que maiores taxas de resfriamento e velocidades de deslocamento da isoterma *liquidus* são obtidas nas posições mais próximas da base de extração de calor, e a presença de chumbo disperso na microestrutura resultante.

PALAVRAS-CHAVE: Alpaca 2 c/ Pb, Microestrutura, Variáveis térmicas de solidificação.

SOLIDIFICATION THERMAL VARIABLES OBTAINING AND MICROSTRUCTURE ANALYSIS OF ALPACA 2 ALLOY C/PB

ABSTRACT: The objective of this work is to experimentally determine the thermal variables of solidification and analyze the microstructure of the Alpaca 2 w/Pb alloy obtained after the upward unidirectional solidification. The alloy was solidified in an AISI 304 stainless steel ingot

mold mounted on a unidirectional upward cooling device. The heat was extracted directionally through water cooling on the base plate made of graphite. The thermal variables of solidification tip growth rate (V_L), cooling rate (T_R) and thermal gradient (G_L) were evaluated as a function of the distance from the heat extraction surface. The microstructure was analyzed using optical microscopy (OM). As a result, it was observed that higher cooling rates and displacement velocities of the *liquidus* isotherm are obtained in positions closer to the heat extraction base, and the presence of lead dispersed in the resulting microstructure.
KEYWORDS: Alpaca 2 w/ Pb, Microstructure, Solidification thermal variables.

1 I INTRODUÇÃO

A fundição de metais é um importante processo na obtenção dos mais variados itens do nosso dia a dia. Porém, controlar somente o processo de fusão dos metais não garante o resultado esperado ao produto final. Há que se ter também um controle durante o processo de solidificação desses metais. O estudo do processo de fusão aliado ao de solidificação assegura ao produto final melhores propriedades mecânicas em função de microestruturas resultantes (TERAM, 2019).

O cobre e as ligas à base de cobre, que apresentam uma combinação desejável de propriedades físicas têm sido utilizados em uma grande variedade de aplicações desde a antiguidade. O cobre, sem elementos de liga, é tão dúctil que é muito difícil de ser usinado; além disso, ele tem capacidade quase ilimitada de ser trabalhado a frio. Adicionalmente, ele é altamente resistente à corrosão em diversos ambientes, que incluem a atmosfera ambiente, a água do mar e alguns produtos químicos industriais. As propriedades mecânicas e de resistência à corrosão do cobre podem ser melhoradas pela formação de ligas (CALLISTER, 2012, p.347). Os sistemas de ligas são classificados ou de acordo com seu metal básico ou de acordo com alguma característica específica que seja compartilhada por um grupo de ligas (CALLISTER, 2012, p.347).

Alpacas são ligas ternárias cobre-níquel-zinco, que eventualmente podem conter teores significativos de outros elementos, como o chumbo, por exemplo. Estas ligas contêm de 10 a 30% de níquel, em massa, porém comercialmente em geral contêm até 18% de níquel, 45 a 70% de cobre e o restante de zinco.

As Alpacas são soluções sólidas homogêneas que podem ser deformadas a frio e a quente, além de serem resistentes à corrosão. A adição de chumbo, além de aumentar a usinabilidade, permite o uso das Alpacas para a fabricação de materiais para gravação com fins decorativos. Além de serem trabalhadas na forma de produtos planos, arames e barras, as placas podem ser fundidas para outras aplicações, como válvulas hidráulicas. As Alpacas com chumbo fundidas em areia podem ser usadas na fabricação de equipamentos para a indústria de laticínios, válvulas e assentos de válvulas para temperaturas elevadas, instrumentos musicais, chaves, acessórios de construção naval, peças ornamentais e outros tipos de aplicações. Outras aplicações importantes das Alpacas estão na fabricação

de zíper e de contatos de equipamentos elétricos e telefônicos, componentes de aparelhos óticos e fotográficos, assim como arames de resistores elétricos (INFOMET, 2021).

Devido a trabalhos e estudos já desenvolvidos, sabe-se que o controle das variáveis térmicas de solidificação definirá as características do produto final através da microestrutura obtida após a solidificação (GOULART, 2005). As microestruturas que se formam durante a solidificação podem apresentar morfologias e dimensões diferentes que variam em função da taxa de resfriamento, influenciando diretamente nas propriedades mecânicas do material (MOREIRA, 2011).

Este trabalho tem como foco determinar experimentalmente variáveis térmicas de solidificação da liga Alpaca 2 c/ Pb e analisar a microestrutura resultante. A referida liga tem como elementos de liga Cu-Ni-Zn, sendo classificada segundo o sistema de numeração unificada UNS como C7XXXX.

A tabela 1 apresenta a composição química e limites percentuais da liga Alpaca 2 c/ Pb.

Liga	Norma	Elementos (% em massa)					
		Cu	Pb	Fe	Zn	Ni	Mn
Alpaca 2 c/ Pb C78200	ASM	63,0 a 67,0	1,5 a 2,5	0,35 máx.	restante	7,0 a 9,0	0,5 máx.

Tabela 1: Composição química e limites percentuais.

Fonte: Adaptado de ASM METALS HANDBOOK, 1992.

A tabela 2 apresenta as propriedades físicas e mecânicas da liga Alpaca 2 c/ Pb.

Propriedades	Valores
Temperatura *liquidus*	1.000 ºC (1830 ° F)
Temperatura *solidus*	970 ºC (1780 ° F)
Temperatura de recozimento	500 a 620 ºC (930 a 1150 ° F)
Coeficiente de expansão térmica linear	18,5 m / m K (10,3 pol./pol. ° F) a 20 a 100 ° C (68 a 212 ° F)
Calor específico	380 J / kg K (0,09 Btu / lb ° F) a 20 ° C (68 ° F)
Condutividade térmica	48 W / m K (28 Btu / ft h ° F) a 20 ° C (68 ° F)
Massa específica	8,69 g/cm^3 (0,314 lb / pol.^{3}) a 20 ° C (68 ° F)

Tabela 2: Propriedades físicas e mecânicas da liga Alpaca 2 c/ Pb [6].

Fonte: adaptado de ASM METALS HANDBOOK, 1992.

2 | APARATO EXPERIMENTAL

Utilizado na solidificação da liga (Figura 1). Trata-se de um forno elétrico desenvolvido pelo grupo de pesquisa em solidificação do Instituto Federal de São Paulo (IFSP), com

12 kW de potência e capaz de atingir temperaturas de até 1.100 ºC.

O forno possui estrutura metálica com formato cilíndrico e resistências elétricas para aquecimento do forno, que estão embutidas no material refratário. No interior no forno há um termopar responsável pela medição da temperatura interna do dispositivo. Esse termopar está conectado ao painel de controle do equipamento, onde em um display indicativo da temperatura pode-se aumentá-la ou diminui-la.

Na parte interna do equipamento há um arranjo tubular responsável em prover a refrigeração da lingoteira pela base. Essa base tubular tem como função apoiar a lingoteira além de permitir a saída da água após refrigeração. Dentro dessa estrutura, há um outro tubo que conduz a água que irá resfriar a chapa molde (base da lingoteira).

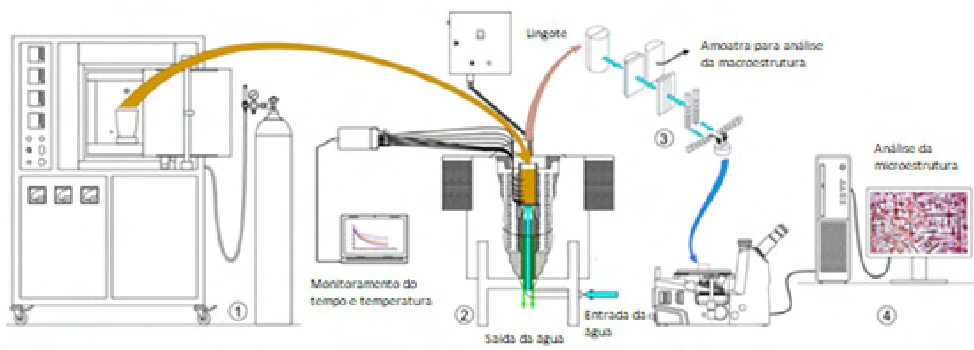


Figura 1 – Diagrama do Aparato Experimental: (1) Preparação da Liga no Forno de Fusão, (2) Solidificação Unidirecional com Monitoramento de Tempo e Temperatura, (3) Preparação de Amostras e (4) Análise da Microestrutura.

Fonte: Adaptado de CRUZ, 2020.

Na Figura 2 é apresentado o dispositivo utilizado no processo de solidificação unidirecional ascendente, que é o item 2 da figura 1.

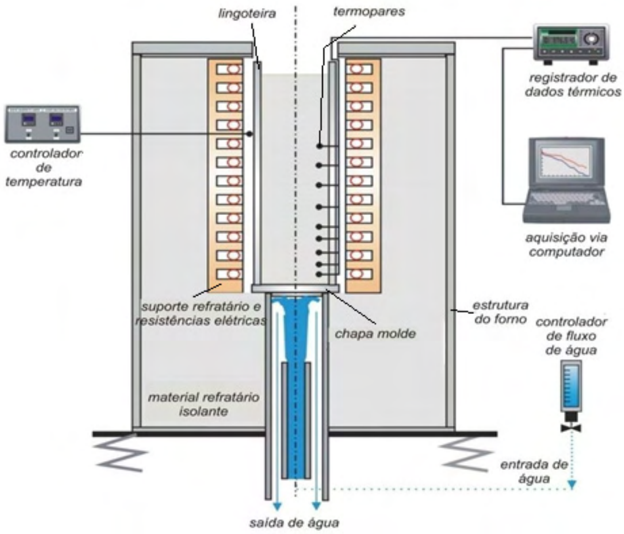


Fig. 2 - Esquematização do dispositivo de solidificação unidirecional ascendente.

Fonte: SANTOS, 2009.

A figura 3 traz o detalhamento do sistema de resfriamento da lingoteira.

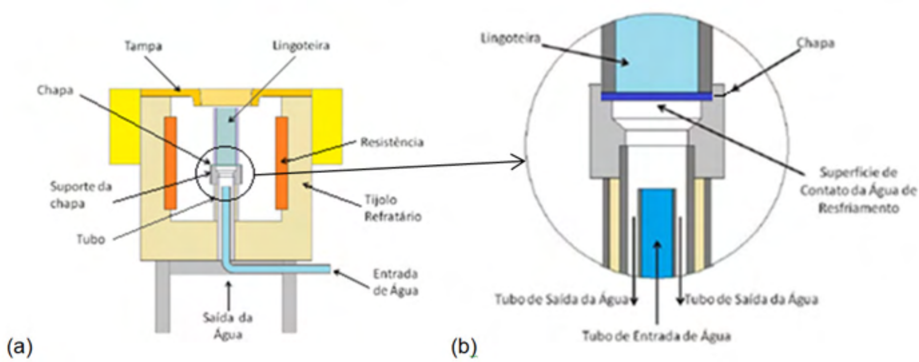


Figura 3 – (a) Esquema do dispositivo para solidificação unidirecional ascendente; (b) Detalhe da região de resfriamento da lingoteira.

Fonte: NASCIMENTO, 2016.

3 I METODOLOGIA

O planejamento da pesquisa experimental implica no desenvolvimento de uma série de passos (etapas):

- Preparação da lingoteira e demais componentes do experimento;
- Preparação da liga em estudo; e

- Processo de vazamento e realização da análise metalográfica: macrografia e microestrutura.

O lingote resultante do processo de solidificação sofreu dois cortes longitudinais, conforme Fig. 4, e perpendiculares aos termopares, resultando em três partes, uma central para obtenção de amostras para micrografia e mais duas outras, sendo que a parte do lado dos termopares foi utilizada para a macrografia.

A superfície plana do lingote destinada para a macrografia foi lixada com lixas d'água até 600 mesh e posteriormente atacada quimicamente por aproximadamente 12 segundos com uma solução composta por 50% de ácido nítrico (HNO3) e 50% de água (H2O).

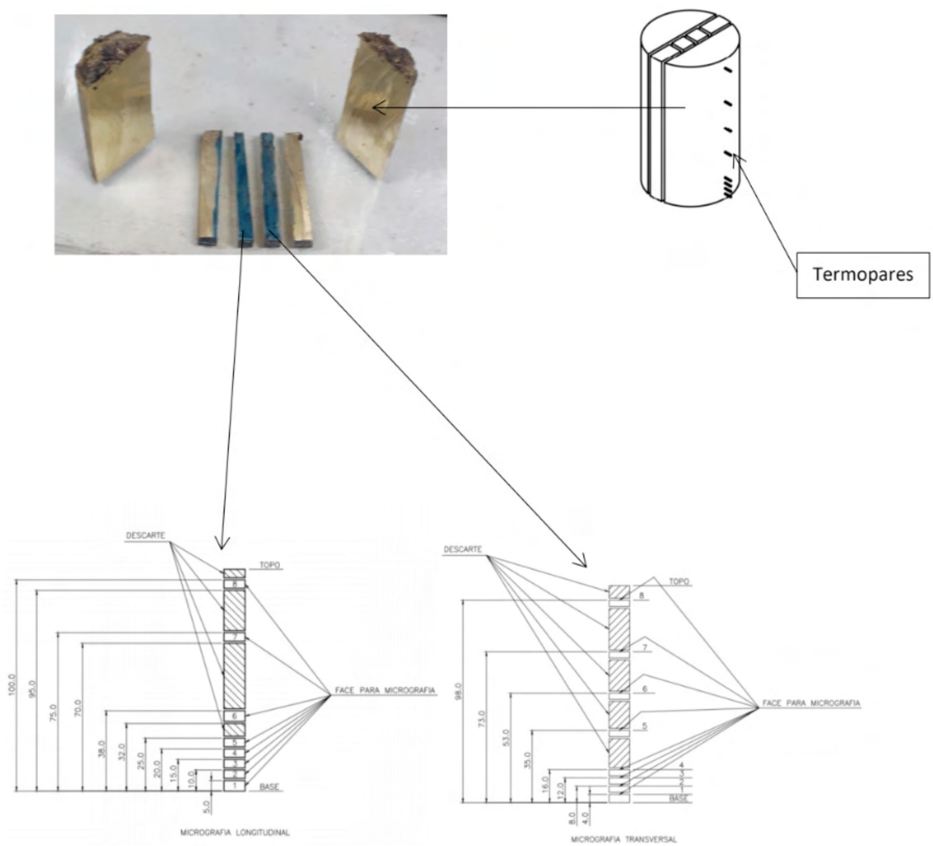


Fig. 4 – Esquema dos cortes realizados no lingote para confecção das amostras para análises.

3.1 Micrografia

Em relação às amostras para análise micrográfica (Figura 5), após corte e lixamento prévio da face a ser analisada foram embutidas em baquelite e identificadas na base, considerando-se uma fenda na parte inferior do embutimento e uma identificação na face

superior para as posição das amostras 1, 2, 3 e 4 do termopar, duas fendas na parte inferior do embutimento e uma identificação na face superior para as posições 5, 6, 7 e 8 do termopar, tanto para a micrografia transversal quanto para a micrografia longitudinal.

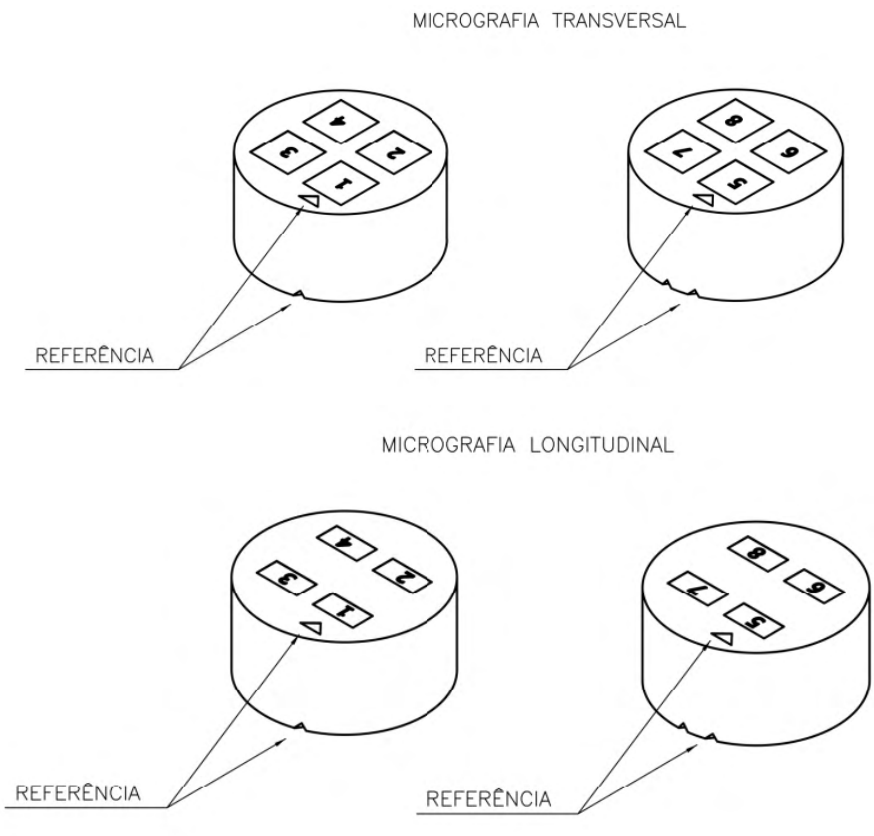


Figura 5 – Embutimento e identificação das amostras para micrografia.

Tanto para micrografia longitudinal quanto para a transversal, as amostras passaram por lixamento e polimento, seguido de ataque químico composto por 50% de ácido nítrico (HNO_3) e 50% de água (H_2O).

4 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na sequência são apresentados e discutidos os resultados obtidos em termos de variáveis térmicas de solidificação e estrutura (macro e micro) resultante nos experimentos de solidificação realizados na liga Alpaca 2 c/Pb.

4.1 Variáveis Térmicas de Solidificação

A partir do arquivo gerado pelo sistema de aquisição de dados durante o processo de solidificação da liga, pode-se obter a curva de resfriamento por termopar, mostrada na Fig. 6.

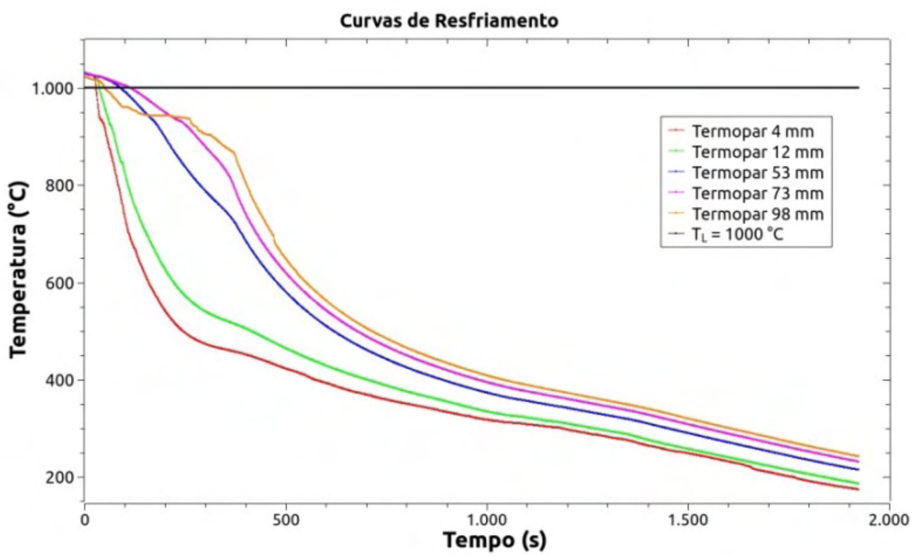


Fig 6 - Curvas de resfriamento por termopar: Temperatura em função do Tempo.

Os valores apresentados nos gráficos a seguir foram obtidos pelo método dos mínimos quadrados usando o software SCIDAVIS. Os termopares das posições 8 mm, 16 mm e 35 mm apresentaram dados anormais e não puderam ser analisados. Além desses, o termopar da posição 98 mm também apresentou uma curva atípica e não foi considerado nas análises das curvas de resfriamento, contudo, não comprometendo a análise dos resultados.

Com os registros das curvas de resfriamento é possível determinar os tempos de passagem da isoterma *liquidus* (t_L) em função das posições dos termopares. Com isso, é possível obter equações experimentais que permitem a sua estimativa nos demais pontos do lingote e que pode ser representada pela equação 1:

$$P = C.(t_L)^n \qquad \text{(Equação 1)}$$

em que P é a posição em relação ao ponto de resfriamento (mm), C é a constante para a liga em estudo, resultante de coeficientes da equação, t_L é o tempo de passagem da isoterma *liquidus* na posição em relação ao ponto de resfriamento (s) e n é o expoente com

valor sempre menor que uma unidade.

Por meio dos dados obtidos durante a solidificação do lingote e tendo como referência a temperatura *liquidus* da liga de 1.000 ºC, obteve-se o gráfico e a equação mostrados na Fig. 7.

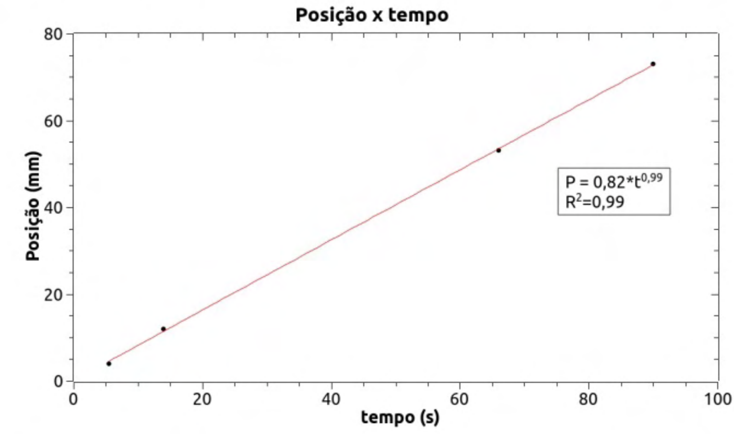


Fig. 7 – Posição em função do tempo de passagem da isoterma *liquidus.*

A velocidade experimental de deslocamento da isoterma *liquidus* (V_L) pode ser determinada derivando-se a função P = f(t) obtida experimentalmente e mostrada na Fig. 8, ou seja, V_L = dP/dt. Relacionando-se a função V_L = f(t) com P = f(t) pode-se obter a velocidade em função da posição, V_L = f(P). A curva da Fig. 8 mostra que nas posições iniciais houve uma velocidade maior de extração de calor.

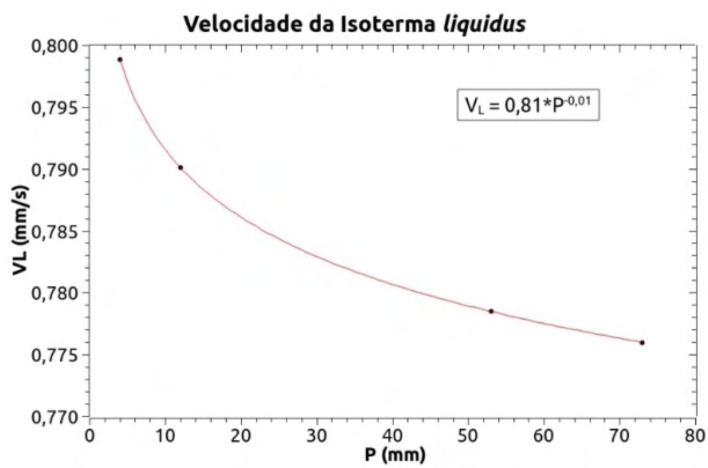


Fig. 8 – Velocidade de deslocamento da isoterma liquidus em função da Posição.

A taxa de resfriamento (T_R) pode ser obtida por meio do quociente das temperaturas e tempos inferiores e superiores ao ponto da temperatura liquidus, ou seja, TR = dT/dt. Portanto, obtém-se:

$T_R =$ (Equação 2)

A Fig. 9 mostra uma diminuição progressiva da taxa de resfriamento para as posições mais afastadas da interface metal/molde.

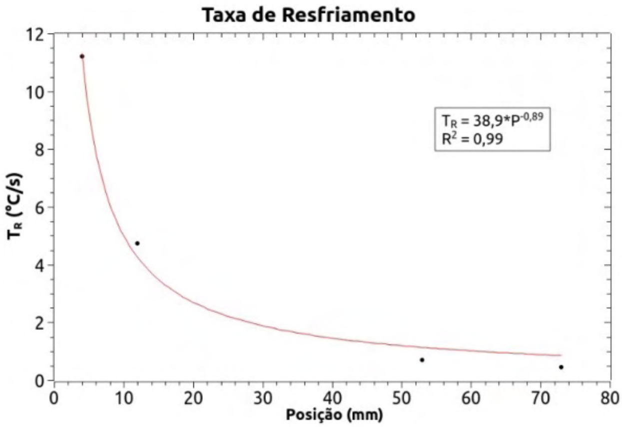


Fig. 9 – Taxa de resfriamento em função da Posição.

O gradiente térmico (G_L) pode ser obtido por meio dos valores de velocidade de deslocamento da isoterma *liquidus* (V_L) e da taxa de resfriamento experimental (T_R), conforme a equação experimental $G_L = T_R/V_L$ (Fig.10).

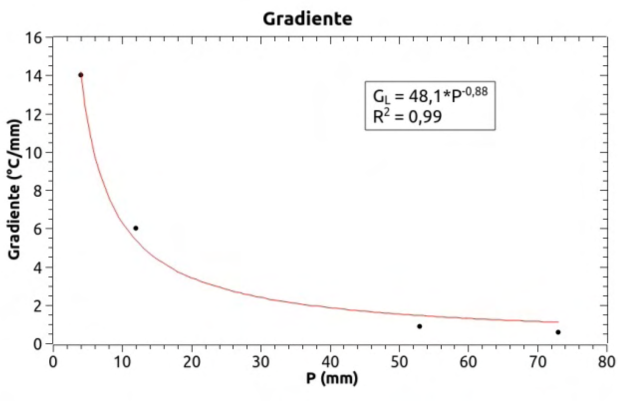


Fig. 10 – Gradiente térmico em função da Posição.

Com o avanço do processo de solidificação e o aumento da camada solidificada aumenta também a resistência térmica nos pontos mais distantes da interface metal/molde. A Fig. 10 ratifica essa relação, observando-se a redução dos valores de gradiente térmico em função do distanciamento do ponto de resfriamento.

4.2 Macrografia

Em análise macroscópica, pode-se observar a formação de uma estrutura colunar predominante ao longo do lingote, conforme mostrado na Figura 11.

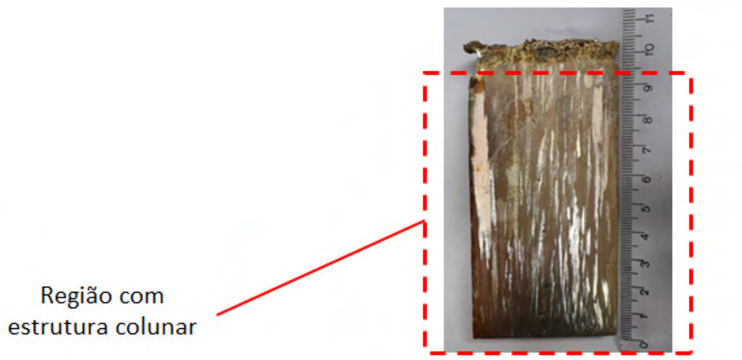


Fig. 11 – Macrografia da amostra.

4.3 Micrografia longitudinal

Nas micrografias na direção longitudinal mostradas na Figura 12, a posição adotada utiliza a base de resfriamento do lingote como referência. No momento das análises, o laboratório estava com as seguintes condições ambientais, temperatura de 22,3ºC e umidade de 45%. Nota-se a formação de estrutura dendrítica com orientação colunar e a presença de chumbo disperso na microestrutura resultante.

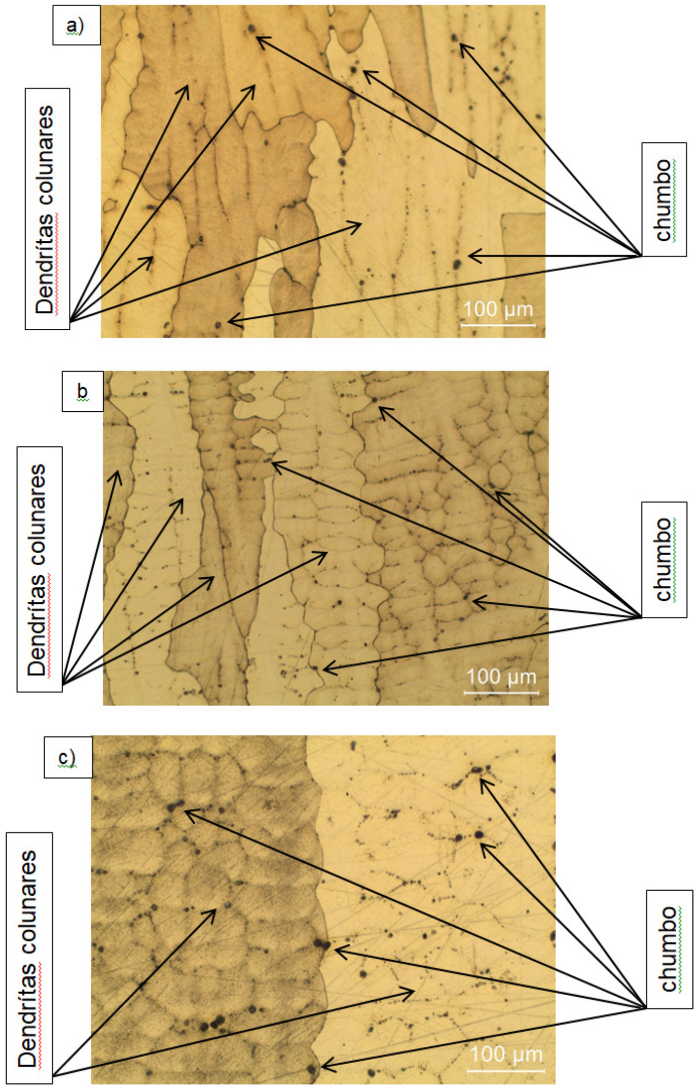


Figura 12 – Micrografia longitudinal, a) Amostra 1, Pos. 0 – 5mm; b) Amostra 3, Pos. 10 – 15mm e c) Amostra 7, Pos. 70 – 75mm, onde observa-se estrutura bruta de fusão com dendritas colunares e presença de chumbo dispersos na estrutura.

4.4 Micrografia trasnsversal

Na Figura 13 são mostradas micrografias na direção transversal. A posição mostrada utiliza a base de resfriamento do lingote como referência. No momento das análises o laboratório estava com as seguintes condições ambientais, temperatura de 23,4ºC e umidade de 54%. Nota-se a formação de estrutura dendrítica com orientação equiaxial e a presença de chumbo disperso na microestrutura resultante.

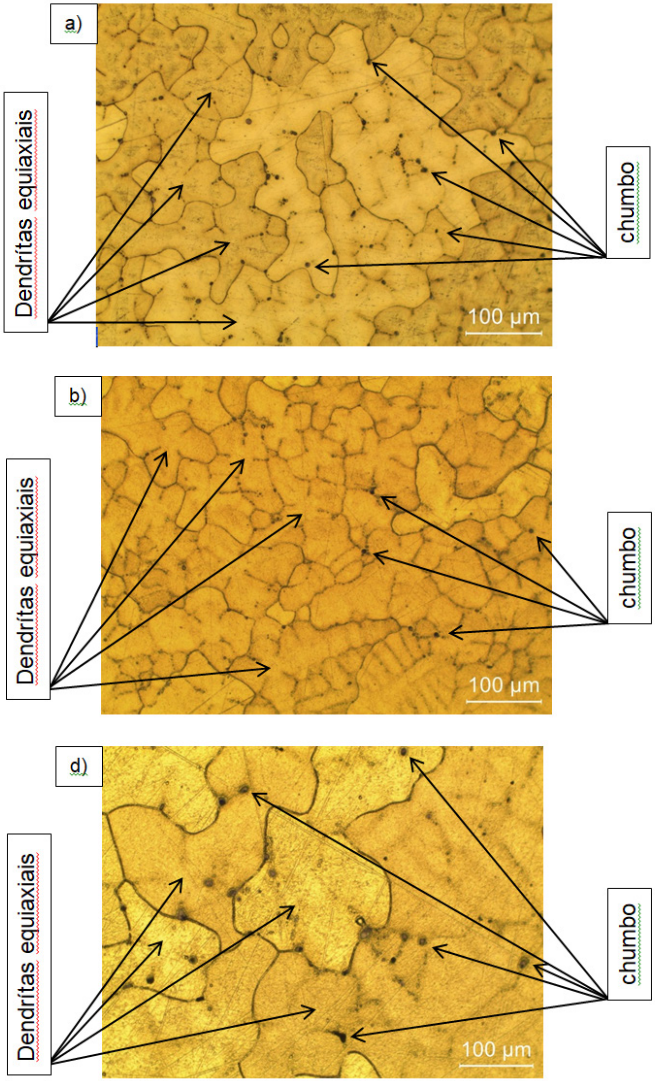


Figura 13 – Micrografia transversal, a) Amostra 1, Pos. 4mm; b) Amostra 3, Pos. 12mm e d) Amostra 7, Pos. 73mm, onde observa-se estrutura bruta de fusão com dendritas equiaxiais e presença de chumbo dispersos na estrutura.

5 | CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, nota-se que os valores da velocidade de deslocamento da isoterma *liquidus* (V_L), da taxa de resfriamento (T_R), do gradiente térmico (G_L) são maiores para as posições mais próximas da superfície de troca de calor.

As amostras na direção longitudinal apresentaram estrutura bruta de fusão com dendritas colunares e presença de chumbo disperso na microestrutura e na direção transversal apresentaram estrutura bruta de fusão com dendritas equiaxiais e presença de

chumbo também disperso na microestrutura.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP; à Universidade Presbiteriana Mackenzie; e à Termomecanica São Paulo S.A. pelo apoio às atividades de pesquisa desenvolvidas.

REFERÊNCIAS

ASM METALS HANDBOOK. **Properties and selection: Nonferrous alloys and special-purpose materials.** Vol. 2. ASM International: Novelty, OH, USA, 1992.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução**. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 912 p

CRUZ, R. A. DA. **Microstructural Characterization and Mathematical Modeling for Determination of Volume Fraction of Eutectoid Mixture of the Cu-8.5wt% Sn Alloy Obtained by Unidirectional Upward Solidification.** *Materials Science Forum,* 2020.

GOULART, P. R. **Variáveis térmicas de solidificação, microestrutura e propriedades mecânicas de ligas hipoeutética Al-Si**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP-FEM-DEMA, Campinas, 2005.

INFOMET. Metais e Ligas – Cuproníquel e Alpaca. Disponível em: https://www.infomet.com.br/site/metais-e-ligas-conteudo-ler.php?codAssunto=66 Acessado em: 13/07/2021.

MOREIRA, P. S. **Efeito da taxa de resfriamento e dos tratamentos térmicos sobre as propriedades mecânicas da liga Al-Si-Mg (A356.0) fundida**. Dissertação (Mestrado) – REDEMAT, Ouro Preto, 2011.

NASCIMENTO, M. S. **Análise microestrutural da liga Al-10Si-2Cu (%p) e a correlação com variáveis térmicas de solidificação e resistência mecânica**. Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Paulo, 2016.

SANTOS, G. A. **Correlação entre variáveis térmicas de solidificação, microestrutura e comportamento mecânico de ligas Al-Zn e Al-Cu-Li.** Tese (Doutorado) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA, São José dos Campos, 2009.

TERAM, R. **Influência das variáveis térmicas de solidificação na microestrutura e dureza da liga Cu-14Al-5Ni-5Fe**. Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Paulo, 2019.

CAPÍTULO 21

SÍNTESE DE FILMES DE ÓXIDO DE ZINCO DOPADOS COM NANOPARTÍCULAS DE PRATA APLICADOS EM SENSORES DE GÁS

Data de aceite: 01/03/2022
Data de submissão: 18/01/2022

Luana Martins de Carvalho
Departamento de Engenharia Mecânica, PPGEM/FEB/UNESP
Bauru, São Paulo, Brasil
ORCID:0000-0002-6043-7226

César Renato Foschini
Departamento de Engenharia Mecânica, PPGEM/FEB/UNESP
Bauru, São Paulo, Brasil
ORCID: 0000-0003-1300-4978

Kléper Rocha
Departamento de Química, FC/UNESP
Bauru, São Paulo, Brasil
ORCID: 0000-0001-7887-9113

Carlos Eduardo Cava
Departamento de Engenharia de Materiais,PPGCEM/UTFPR
Londrina, Paraná, Brasil
ORCID: 0000-0002-7315-9966

RESUMO: O óxido de zinco (ZnO) apresenta uma grande versatilidade física, elétrica, mecânica e propriedades químicas que podem ser exploradas em uma variedade de aplicações, tais como fotocatálise, nanoadsorventes e sensoriamento de gases. Os materiais nanoestruturados têm atraído a atenção da ciência e tecnologia nos últimos anos porque podem melhorar suas propriedades em nanoescala. A prata em escala nanométrica tem gerado interesse de pesquisadores de diferentes áreas, pois a prata é moldável e maleável, possui elevada condutividade térmica e elétrica, além de ser um forte oxidante. E esse trabalho foi desenvolvido com base na produção de nanopartículas de prata e filmes de óxido de zinco para a aplicação em sensores de gás. Os filmes de óxido de zinco foram fabricados pelo método dos precursores poliméricos e utilizados como matriz devido a sua interatividade com os gases. As nanopartículas de prata foram produzidas por meio de reação em emulsão, explorando sua alta condutividade elétrica. Dessa forma, por meio das propriedades de ambos os materiais, desenvolveu-se um sensor de gás composto de óxido de zinco na forma de filmes em substratos de Al_2O_3, com diferentes camadas dopadas e não dopadas com nanopartículas de prata. Notou-se que o desenvolvimento de um material compósito do tipo filme de ZnO dopado com as nanopartículas de prata, apresentou propriedades melhoradas, como por exemplo, a resposta elétrica do material quando comparada com o filme contendo apenas o filme de ZnO puro.

PALAVRAS-CHAVE: Nanopartículas de prata. Filmes finos de óxido de zinco. Sensores de gás.

SYNTHESIS OF ZINC OXIDE FILMS DOPED WITH SILVER NANOPARTICLES APPLIED IN GAS SENSOR

ABSTRACT: Zinc oxide (ZnO) presents a great physical, electrical, mechanical and chemical versatility that can be exploited in a variety of applications, such as photocatalysis, nanoadsorbents and gas sensing. Nanostructured

materials have attracted the attention of science and technology in recent years because they can improve their nanoscale properties. The silver in nanoscale has generated interest of researchers of different areas, because the silver is moldable and malleable, has high thermal and electrical conductivity, besides being a strong oxidant. And this project was developed based on the production of silver nanoparticles and zinc oxide films for the application in gas sensors. The zinc oxide films were manufactured by the method of the polymeric precursors and used as matrix due to its interactivity with the gases. The silver nanoparticles were produced by means of emulsion reaction, exploring their high electrical conductivity. Thus, through the properties of both materials, a gas sensor composed of zinc oxide in the form of films on substrates of Al_2O_3, with different layers doped and not doped with silver nanoparticles was developed. It was noted that the development of a ZnO film-like composite material doped with the silver nanoparticles exhibited improved properties, such as the electrical response of the material as compared to the film containing only the pure ZnO film.
KEYWORDS: Silver nanoparticles; Fine zinc oxide films; Gas sensors.

1 | INTRODUÇÃO

O óxido de zinco (zno) tem sido muito pesquisado devido à sua versatilidade de propriedades física, elétrica, mecânica e químicas para uma variedade de aplicações, tais como fotocatálise, nanoadsorventes e sensoriamento de gás (ganesh, 2016; h. Aleebrahim dehkordi, mokhtari e mater, 2015). Semicondutores de óxido de metal como o zno são usados para a detectar gases redutores, com temperaturas de operação típicas a cerca de 400°c. Eles são usados, como sensores de álcool e alarmes de gás para aplicações domésticas entre outras.

Devido à melhoria da qualidade de vida que materiais nanoestruturados podem promover, tem atraído a atenção da ciência e tecnologia em nanoescala nos últimos anos. A pesquisa e o desenvolvimento em nanotecnologia, visam à manipulação de estruturas em nanoescalas e intregrá-las para formação de componentes e sistemas maiores. Alguns produtos em nanoescala já estão sendo comercializados como o dióxido de titânio, ouro, prata e cobre que, adicionados aos plásticos, tintas e outros materiais, melhoram o seu desempenho. Em escala de laboratório os testes mostram que a utilização dos nanomateriais pode tornar os dispositivos mais rápidos (m.s. Arnold, 2003), sensíveis (e. Comini, 2002) e ainda com um consumo menor de energia (m.s. Gudiksen, 2002),0, tornando-os essenciais em uma época em que o desempenho e, principalmente, o consumo de energia dos dispositivos é cada vez mais crítico.

A prata em escala nanométrica tem gerado interesse de pesquisadores de diferentes áreas desde o início da era da nanotecnologia. A prata é moldável e maleável, possui elevada condutividade térmica e elétrica, além de ser um forte oxidante comparado à maioria dos outros metais. Nanopartículas de prata apresentam aplicações promissoras em diversos campos da ciência e tecnologia. Relacionando as propriedades fornecidas pela prata com as de outro material, como a do óxido de zinco, é possível obter-se um

nanocompósito mais eficiente para determinadas como aplicações, como por exemplo, sensores de gás. Portanto, desta forma pode-se obter um sensor com boa reatividade com os gases e com elevada resposta elétrica.

Neste estudo, sintetizou-se um compósito de óxido de zinco dopado com nanoparticulas de prata, explorando sua aplicação em sensores de gás e umidade. Relacionando as propriedades fornecidas pela prata com as de outro material, como a do óxido de zinco, espera-se obter um nanocompósito mais eficiente para determinadas aplicações.

2 I MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Síntese de nanopartículas de prata e filmes de ZnO

Na preparação das nanopartículas de prata e na sua incorporação ao filme de óxido de zinco pelo método Pechini, foram utilizados os seguintes reagentes:

Reagente	Fórmula
Cloridrato de Hidroxilamina	$NH_2OH.HCl$
Nitrato de Prata	$AgNO_3$
Hidróxido de Sódio	$NaOH$

TABELA 1. Regentes utilizados para a obtenção das nanopartículas de prata.

E para a preparação dos filmes de ZnO, utilizou-se o reagentes descritos na TABELA 2:

Reagente	Fórmula
Acetato de Zinco	$ZnC_4H_6O_4$
Ácido Cítrico	$C_6H_8O_7$
Etilenoglicol	$C_2H_6O_2$

TABELA 2: Regentes utilizados para a obtenção dos filmes de ZnO.

2.2 Deposição no Substrato e Tratamento Térmico

Após a formação da resina foi realizada a deposição em substratos de alumina contendo trilhas interdigitadas de platina na superfície, para a produção dos sensores. Nesta etapa, variou-se a quantidade de camadas depositadas por dip-coating. Preparou-se lotes com 3 e 5 camadas de filmes, tanto da resina pura quanto da resina dopada com nanopartículas de prata.

A deposição dos filmes no substrato de alumina com eletrodos de platina interdigitados, foi realizado pelo método de dip-coating, conforme mostrado na Figura 1, com velocidade de imersão e retirada de 10 mm/min. Os substratos permaneceram imersos por aproximadamente 30s.

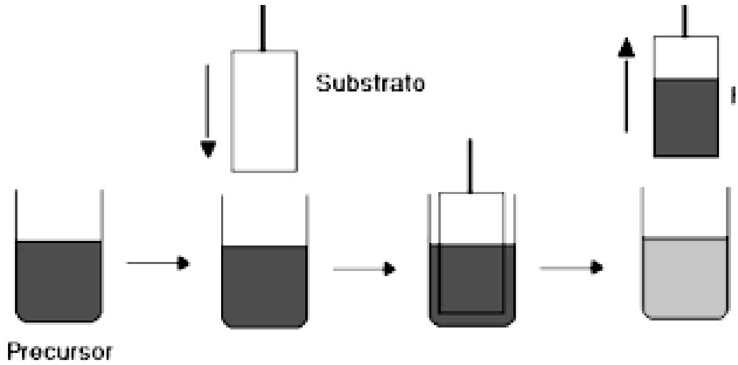


Figura 1. Simulação do método de dip-coating aplicado para a deposição dos filmes.

2.3 Caracerização

Os sensores foram caracterizados por Difração de raios X e a nanopartículas por espectroscopia UV-Vis.

2.3.1 Umidade Relativa

Para a realização da análise de umidade relativa foram utilizados 11 frascos com umidade relativas diferentes e controladas. Para que sejam estabelecidas as devidas variações de UR, soluções salinas aquosas foram preparadas segundo a norma ASTM E104-85, as quais, dependendo do sal utilizado, fornecem diferentes valores (e com pequenas flutuações) de UR's. As seguintes soluções (a 18 ºC) foram utilizadas: NaOH (6% de UR), KOH (9% de UR), LiCl (11% de UR), $MgCl_2$ (33% de UR), $Mg(NO_3)_2$ (51% de UR), NH_4NO_3 (62% de UR), $Sr(NO_3)_2$ (71% de UR), $NaNO_3$ (74% de UR), NH_4Cl (79% de UR) e K_2SO_4 (87% de UR).

Um dispositivo foi acoplado ao recipiente junto aos sensores fabricados e deixado por 5 minutos para a absorção da umidade antes da realização das medidas de resistência e capacitância. Esse procedimento foi realizado para os quatro tipos de sensores.

As medidas da resposta elétrica dos sensores, foram feitas com uma ponte LCR UNI-T UT612 (faixa de 20 a 200 MΩ, resolução de +/- 0,3 %) onde avaliou-se os resultados com três frequências diferentes, sendo elas: 100 Hz, 120 Hz e 1 kHz.

2.3.2 Caracterização Elétrica

As medidas de detecção de gás foram realizadas em uma câmara que permite o controle da temperatura da amostra bem como a variação da concentração de diferentes tipos de gases. A sensibilidade das amostras foi avaliada em relação ao gás hidrogênio (H_2), A obtenção da linha de base foi realizada com ar sintético (gás vetor) em um fluxo constante de 500 $ml.min^{-1}$.

Um dos objetivos da caracterização elétrica dos filmes de ZnO intrínsecos e dopados foi a obtenção da resistividade em função dos parâmetros de deposição dos filmes. Com a finalidade de conhecer o comportamento elétrico dos filmes.

As medidas da variação da condutividade elétrica dos filmes intrínsecos e dopados, tratados ou não termicamente em função da temperatura são realizados através da montagem de um circuito elétrico de medida, dispondo-se basicamente de dois multímetros, um termopar, fios de cobre e solução de prata condutora. Para a execução das medidas posiciona-se a amostra sobre uma chapa aquecedora, conectando-a ao circuito de medida através de contatos ôhmicos coplanares. Estes contatos são estabelecidos através dos fios de cobre aderidos ao filme por uma solução de prata condutora. A temperatura da chapa é controlada através de uma fonte AC, com uso de um termopar e um multímetro.

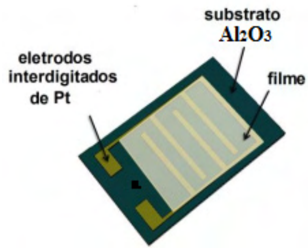


Figura 2: Sensor de gás.

Durante a realização das medidas, a amostra foi colocada sobre uma placa de aquecimento a qual permite a variação de temperatura de 25 a 400°C, porém a variação de temperatura utilizada foi 25 a 280°C. A medida do valor da resistência elétrica da amostra foi realizada pela aplicação de uma corrente e uma tensão DC de 1V a 17V. A medida da resistência elétrica na presença do gás H_2 foi realizada após o valor da resistência ter atingido um valor praticamente constante. A amostra a ser analisada foi colocada em contato com diferentes concentrações do gás de hidrogênio e em diferentes temperaturas de trabalho permitindo assim avaliar os diferentes aspectos de detecção em relação às diferentes condições de operação.

3 | RESULTADOS

3.1 Espectroscopia UV-VIS

Pela espectroscopia UV-vis observou-se a absorção das moléculas no comprimento de onda em torno de 400 nm, como indicado na Figura 3, a formação de nanopartículas de prata com tamanhos de 10-14 nm.

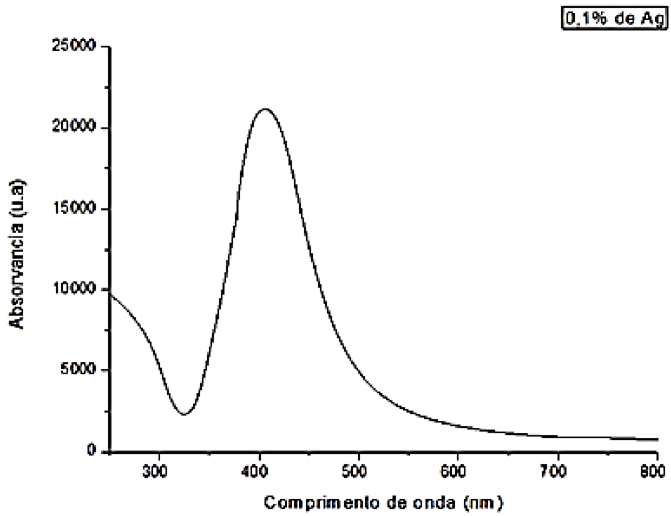


Figura 3: Espectro eletrônico de absorção no UV-Vis da solução de prata coloidal obtida por emulsão.

O tamanho das nanopartículas obtidas foi satisfatório, pois considera-se que valores de nanopartículas são de até 100 nm, e uma vez que o valor obtido na análise foi de 10 - 14 nm, dessa forma o resultado ficou dentro do espectro esperado.

3.2 Difração de Raio-X

Com a realização das análises nos quatro tipos de sensores, nota-se picos referentes aos planos (002), (101), (110), (103), (200) e (202), sendo o (002) e (110) os picos mais intensos para todos os filmes, o que indica que os filmes são policristalinos e com direções da estrutura cristalográfica hexagonal do ZnO. Os difratogramas revelam que os filmes tem um forte crescimento com orientação preferencial ao longo do eixo-c, orientados perpendicularmente ao substrato. Isto ocorre porque o plano (002) é o plano de menor energia livre superficial (FUJIMURA, NISHIHARA, et al., 1993).

Os planos (002) dos sensores com 3 camadas são mais cristalinos, que os dos sensores de 5 camadas. Esse fator é atribuído a espessura dos filmes, pois a superfície de um filme apresenta irregularidades e defeitos, os quais podem influenciar no crescimento dos filmes superiores. Visto que a espessura da amostra penetrada pelo feixe difratado é

muito pequena, logo a superfície da amostra deve, o quanto possível, estar livre de tensões e defeitos.

Os resultados obtidos da caracterização, colocaram também em evidência em seu difratograma a presença de alumina (Al_2O_3) com pico principal de difração [113]. A presença de alumina refere-se ao substrato utilizado para a deposição dos filmes de ZnO.

O resultado obtido no DRX dos quatro sensores são apresentados na Figura 4.

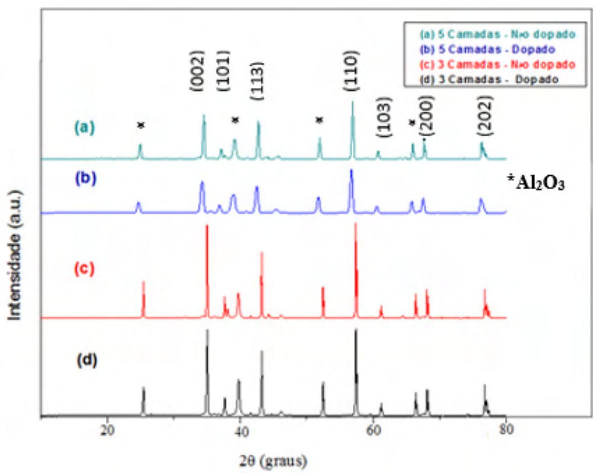


Figura 4. Difratograma de Raios X das 4 amostras analisadas. (a) 5 camadas de filmes de ZnO não dopados; (b) 5 camadas de filmes de ZnO dopados; (c) 3 camadas de filmes de ZnO não dopados; e (d) 3 camadas de filmes de ZnO dopados.

A Figura 5 apresenta o difratograma da amostra de ZnO comercial (ZnO ref), cujos picos foram indexados e têm indicados os índices de Miller dos planos cristalinos do ZnO de estrutura hexagonal (PDF 36-1451).

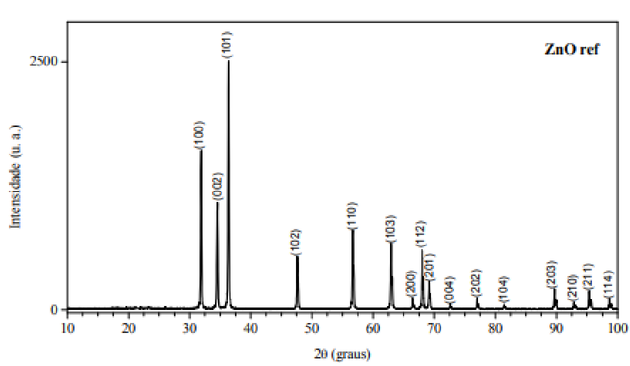


Figura 5. Difratograma do ZnO comercial.

Assim sendo, nota-se formação de ZnO nas quatro mostras analisadas quando comparados os picos obtidos na análise com os picos do Difratograma comercial do ZnO.

3.3 Umidade relativa

Os resultados obtidos na análise da umidade relativa dos quatro tipos de sensores são mostrados nas Figuras 10 e 11.

Na Figura 4 é apresentado a resposta elétrica em 100 Hz das quatro amostras analisadas com a medida da capacitância em função da umidade relativa.

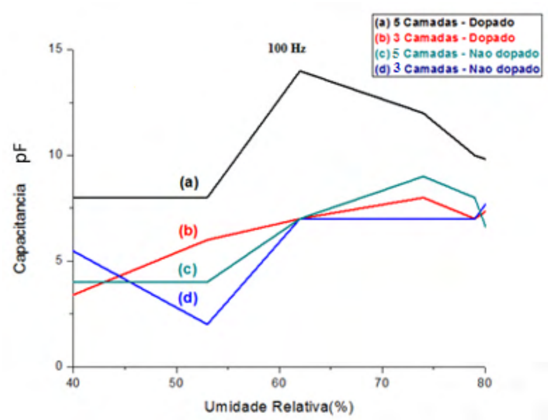


Figura 10. Resposta elétrica em 100 Hz dos quatro sensores analisados com a medida da capacitâcia em função da umidade relativa.

Na Figura 11 é apresentado a resposta elétrica em 120 Hz e 1kHz das quatro amostras analisadas com a relação da Capacitância com a Umidade relativa.

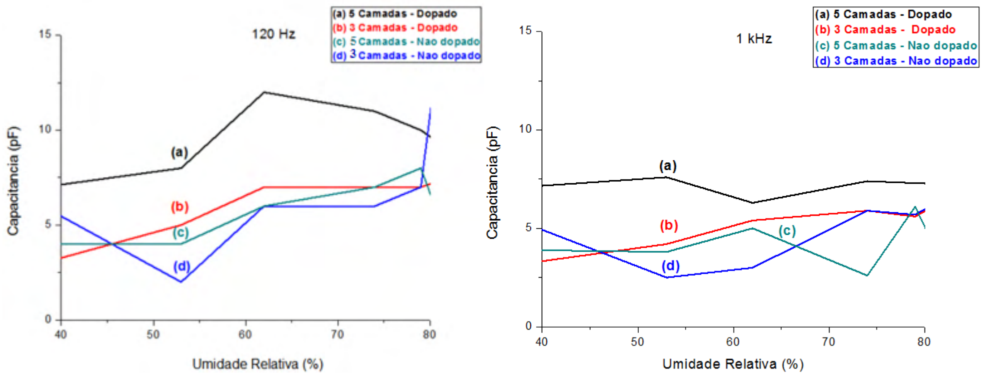


Figura 11. Resposta elétrica em 120 Hz e 1kHz dos quatro sensores analisados com a medida da capacitância em função da umidade relativa.

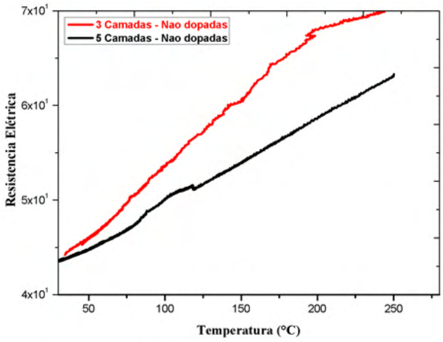
Nas três figuras são mostrados um comportamento semelhante dos quatro sensores para faixa de frequências analisadas, observa-se que o sensor do filme com cinco camadas dopadas, revelou ter um maior potencial capacitivo quando comparado com os outros três sensores. Em seguida o sensor com três camadas de filme dopado, obteve uma maior capacitância quando relacionado com os dois sensores restantes. Posteriormente, o sensor do filme com três camadas não dopadas teve um valor de capacitância melhor atribuído comparado com o sensor de cinco camadas não dopadas.

Portanto, entende-se que quanto maior a concentração de nanopartículas de prata no filme, melhor será a sua resposta elétrica, ou seja, quanto maior número de camadas dopadas depositadas no substrato, mais eficiente será sua resposta elétrica. Esse comportamento se deve ao fato da prata ser um ótimo condutor elétrico, otimizando dessa maneira a eficiência do filme.

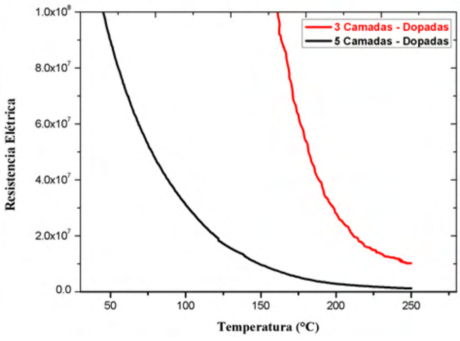
E se os que filmes não foram dopados com as nanopartículas de prata, o substrato com maior quantidade de camadas de filme depositados teve a melhor resposta elétrica, isso deve ao fato que o sensor com 5 camadas podem apresentar um maior volume de sítios ativos o que permite uma maior adsorção de moléculas de água na superfície dos filmes de ZnO, nos contornos de grãos e nos poros, amplificando a resposta sensora destas amostras.

3.4 Resposta elétrica

Na Figura 12(b), conforme esperado, é possível observar que a resistência dos sensores de 3 e 5 camadas dopadas diminui em função do aumento da temperatura, indicando que a adição das nanopartículas de prata, aumenta a resistência do composto ZnO, principalmente em temperaturas mais baixas, este comportamento tem sido atribuído a distorções na estrutura da matriz e a presença de centros de dispersões causada pela incorporação da Ag.



(a)



(b)

Figura 12: Comportamento elétrico em função da temperatura. (a) Sensores de 3 e 5 camadas não dopadas e (b) Sensores de 3 e 5 camadas dopadas.

Com o aumento da temperatura há o aumento da agitação das moléculas presentes no material, o que consequentemente provoca o aumento de elétrons livres. Esses elétrons livres predominam sobre o aumento do grau de agitação da molécula, fazendo com que sua resistividade diminua. Porém, há fatores que possibilita que grau de agitação das molécula seja maior do que o número de elétrons livres no material, ocorrendo a dificuldade da passagem de corrente elétrica, aumentando dessa maneira a sua resistividade.

Quando o ZnO é exposto ao gás redutor H_2, íons de oxigênio quimissorvidos reagem com átomos de H_2 produzindo moléculas de H_2O resgatando o oxigênio quissorvido da superfície do ZnO, liberando elétrons, reduzindo a camada de depleção e consequentemente diminuindo a resistência, assim como é observado no comportamento das curvas dos sensores de 3 e 5 camadas dopados na Figura 13(b). Como apresentado na Figura (a) observa-se que comportamento da curva dos sensores de 3 e 5 camadas não dopadas conforme o aumento da temperatura, há o aumento da resistência elétrica. Isso deve-se ao fato que os íons/elétrons quando em excesso formam uma barreira para a passagem de elétrons livres ou até mesmo formando outras moléculas fazendo com que a resistência aumente. É possível observar na Figura 13 que os filmes contendo nanopartículas de prata (Figura (b) e (d)) apresentam uma resposta maior para a concentração de gás hidrogênio em 347 mL/min, em relação aos que não contém (Figura(a)e(c)).

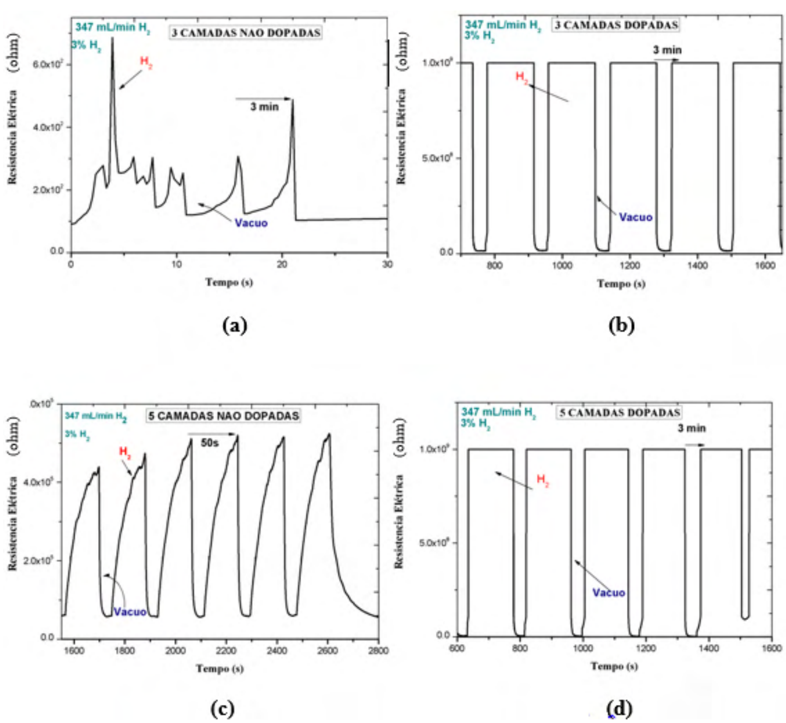


Figura 13: Resposta em função da concentração de 347 mL/min de Hidrogênio dos sensores: (a) Sensor de 3 camadas não dopadas; (b) Sensor de 3 camadas dopadas; (c) Sensor de 5 camadas não dopadas; e (d) Sensor de 5 camadas dopadas.

Na Figura 14 é mostrado que para a concentração do gás hidrogênio em 530,7 mL/min. que os sensores de 3 e 5 camadas dopados (Figura 14 (a) e (b)), tem uma resposta elétrica maior comprados com os sensores de 3 e 5 camadas não dopadas.

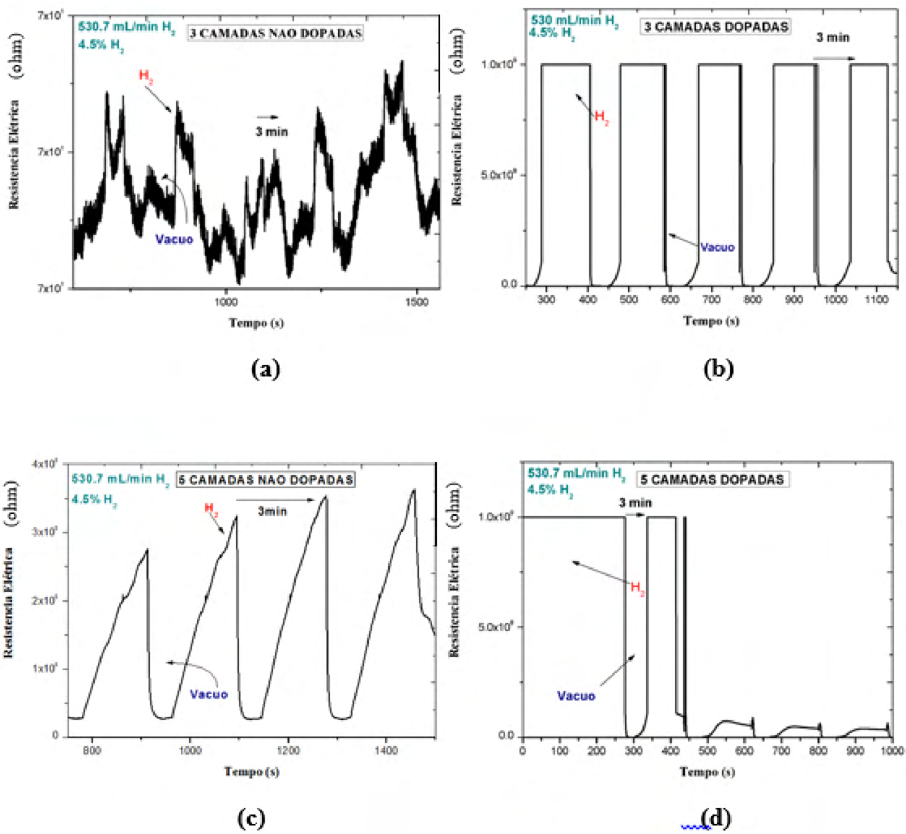
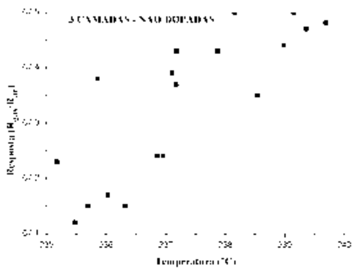


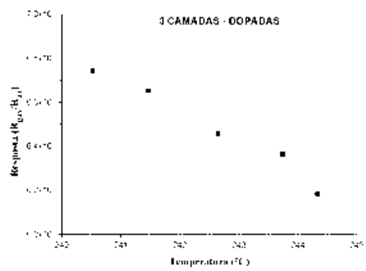
Figura 14: Resposta em função da concentração de 530,7 mL/min de Hidrogênio dos sensores: (a) Sensor de 3 camadas não dopadas; (b) Sensor de 3 camadas dopadas; (c) Sensor de 5 camadas não dopadas; e (d) Sensor de 5 camadas dopadas.

Comparando as duas concentrações utilizadas de gás hidrogênio, percebe-se que os valores resultantes da resposta elétrica dos sensores não tiveram grandes alterações. Porém, existe uma variação no comportamento da curva no sensor de 3 camadas não dopadas e no sensor de 5 camadas dopadas (Figura 14 (a) e (d)) na concentração de gás hidrogênio em 530,7 mL/min. Na curva do sensor de 3 camadas não dopadas, observa-se uma sensibilidade da resistência elétrica em todo o seu percurso, onde há variações contanstantes em sua resistência com o tempo. Já na curva do sensor de 5 camadas dopadas após as primeiras curvas de adsorção de hidrogênio, a resistência elétrica cai para zero ocorrendo overshoots, isto está relacionado com a acumulação de carga resultante do transporte não equilibrado de elétrons e buracos.

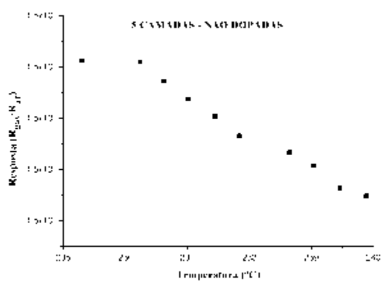
Em termos numéricos, os sensores quando expostos a essas concentrações de hidrogênio, os sensores dopados apresentaram uma resposta 5 vezes maior que os sensores não dopados. Portanto, observa-se que os sensores que contém as nanopartículas de prata no filme de ZnO comportam-se de uma maneira mais satisfatório em relação a sua sensibilidade, conseguindo uma resposta elétrica melhor.



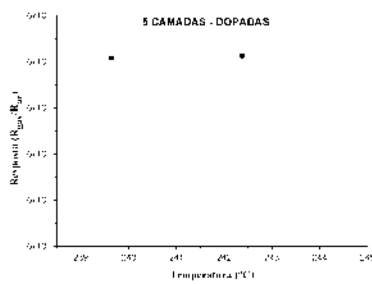
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 15: Variação da resposta em função da temperatura de trabalho dos sensores: (a) Sensor de 3 camadas não dopadas; (b) Sensor de 3 camadas dopadas; (c) Sensor de 5 camadas não dopadas; e (d) Sensor de 5 camadas dopadas.

Na Figura 15 são apresentadas as curva de sensibilidade versus temperatura dos sensores de 3 e 5 camadas não dopadas e, 3 e 5 camadas dopadas quando expostas ao gás de hidrogênio durante 30 segundos. É possível observar que a resposta ao gás hidrogênio aumenta com o aumento da temperatura até alcançar um valor máximo a partir do qual, o valor da resposta diminui. Este comportamento da resposta em função da temperatura é similar para os quatro sensores e é usualmente explicado com base no mecanismo e cinética dos processos de adsorção e desorção do gás na superfície de óxidos metálicos semicondutores como o ZnO. Em baixas temperaturas, a ativação química da amostra é baixa, resultando em um valor de resposta menor. Com o aumento da temperatura, acima de um valor máximo de resposta, as moléculas do gás deixam a

superfície antes mesmo da reação de adsorção se completar devido a maior energia de ativação, o que consequentemente, diminui a resposta ao gás hidrogênio. Assim, o valor máximo da sensibilidade está relacionado à competição entre o processo de adsorção e desorção do gás.

Por ser tratar de um semicondutor, a sensibilidade deveria aumentar, já que há um aumento na mobilidade de portadores de carga numa temperatura maior (JAANISO e TAN, 2013; WANG, ZHAO, *et al.*, 2013). A queda da sensibilidade, pode ser explicado por dois fatores. Primeiro, pela diminuição, em altas temperaturas, de espécies de oxigênio adsorvido, diminuindo assim a taxa de reação com o $H_{2.}$ Segundo, pela quedada taxa de adsorção e decomposição de gases redutores, diminuindo assim a quantidade de espécies de oxigênio reagindo com o gás (LEE e REEDY, 1999). Além da redução da sensibilidade, outro fator que levou a limitar a temperatura de trabalho a 280°C, pois o sistema utilizado aguentava uma temperatura de até 400°C, e para a prevenção e não deterioração utilizou-se essa temperatura de limite de trabalho.

4 I CONCLUSÕES

Em virtude dos fatos mencionados, pode-se notar que a junção de dois materiais contribuiu para a melhoria das propriedades exploradas neste estudo para a aplicação solicitada. Como no trabalho apresentado, foram feitos quatro sensores diferentes, avaliando tanto o sensor com adição de um material em outro, como com diferentes camadas. Conclui-se dessa maneira, que o desenvolvimento de um material compósito como o zno dopado com as nanopartículas de prata para a produção de um filme, apresentou propriedades com melhores respostas, como por exemplo a resposta elétrica do material dopado quando comparada com o filme contendo apenas o zno puro. Por fim, alcançou-se o objetivo proposto, onde filmes finos de óxido de zinco foram sintetizados através do método pechini e dopados com as nanopartículas de prata. E quatro tipos de sensores de gases foram produzidos, utilizando como parâmetros diferença de camadas e dopagem com as nanopartículas.

REFERÊNCIAS

AMORNPITOKSUK, P. et al. **Powder Technol.** [S.l.]: [s.n.], v. 219 , 2015. 158 p.

ATASBBAR, M. Z.; KRISHNAMURTLRY, S.; KOROTCENKOV, G. Sensors: fundamentals of sensing materials. New York: general approaches, v. 1, 2010..

CAGLAR, Y. et al. **Superlatt. Microstruct.** [S.l.]: [s.n.], v. 46, 2009. 469 p.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Materials Science and Engineering an introduction**. 8º. ed. [S.l.]: Wiley, 2009.

CHANG, J. et al. **ACS Appl. Mater. Interfaces**. [S.l.]: [s.n.], v. 5 , 2013. 6687 p.

FOSCHINI, C. R. **Fabricação de filmes cerâmicos nano-estruturados para aplicação em sensores de gases**. Universidade Estadual Paulista. Bauru, p. 75. 2018.

GANESH, I. Ceramics International. [S.l.]: Elsevier Ltd and Techna S.r.l., v. 42, 2016. p. 10410.

GRÜNDLER, P. Chemical sensors: an introduction for scientists and engineers. Berlin Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 2007. p. 1-25.

H. ALEEBRAHIM DEHKORDI, K. D. A.; MOKHTARI, A.; MATER, J. Journal of Materials Science: Materials in Electronics. [S.l.]: Springer, v. 26, 2015. p. 3134.

IVETIC, T. B. et al. **Ceram. Int.** [S.l.]: [s.n.], v. 40, 2014. 1545 p.

JAANISO, R.; TAN, O. K. **Semiconductor gas sensor.**. Oxford: Woodhead Publishing. [S.l.]. 2013.

JUN, M. C. et al. **Nanosci. Nanotechnol.** [S.l.]: [s.n.], v. 13, 2013. 6312 p.

KIM, K.-E.; KIM, T. G.; SUNG, Y.-M. Cryst. Eng. Comm., 14, 2012. 2859.

MALISKA, A. M. **MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Florianopólis, p. 6-24.

PASA, A. A. Introdução a física no estado sólido: Propriedades Elétricas, Óticas e Magnéticas de Materiais. Florianopólis: [s.n.], 2011. p. 14.

SALEMM, R. E. P.; CHINELATTO, A. S. A.; CHINELATTO, A. L. Síntese de pós de alumina por meio de um método Pechini modificado. **Scielo**, n. 60, p. 108-116, 2014.

WANG, X. et al. C2H2 gas sensor based on Ni-Doped ZnO dlectrospun nanofibers. In: **Ceramics International**. [S.l.]: [s.n.], v. 39, 2013. p. 2883-2887.

ZANATTA, C. D. S. **Preparação e caracterização de óxido de zinco nanoestruturado**. Universidade Estadual Paulista. São Paulo, p. 125. 2009.

CAPÍTULO 22

THERMAL ANNEALING EFFECTS ON SOL-GEL SYNTHESIZED CU_2O NANOPARTICLES

Data de aceite: 01/03/2022
Data de submissão: 16/02/2022

Angela Alidia Bernal Cárdenas
Departamento de Física, Centro Politécnico,
Universidade Federal do Paraná
Curitiba, Paraná, Brazil

José Pedro Mansueto Serbena
Departamento de Física, Centro Politécnico,
Universidade Federal do Paraná
Curitiba, Paraná, Brazil

ABSTRACT: A simple and fast Sol-Gel synthesis of Cu_2O nanoparticles is reported. The Cu_2O nanoparticles were deposited by drop casting on glass or indium tin oxide (ITO) substrates for characterization, which was done using X-ray diffraction, scanning eletron microscopy and UV-Vis spectroscopy. The Cu_2O nanoparticles were exposed to a constant temperature thermal process for different duration times. The resulting nanoparticles morphological and structural changes were analyzed using the cited techniques. It was observed that the thermal treatment of Cu_2O nanoparticles is able to slightly increase its size and decrease its band gap energy without affecting crystalline structure.
KEYWORDS: Nanoparticles, Sol-Gel, Cu_2O.

1 I INTRODUCTION

Cuprous oxide is an inexpensive, stable and non-toxic compound and an interesting material because of its optical properties. Cuprous oxide (Cu_2O) is a p-type semiconductor with a direct band gap of 2.1 eV suitable for sunlight absorption [1] and has attracted much attention for decades, due to its potential uses in solar cells [2], photocatalysis [3], photoelectrochemical water division [4], transistors [5] and thin films for gas detection [6].

Aegerter *et al.* used the Sol-Gel method to synthesize Cu_2O semiconductor nanoparticles [7]. This method offers many advantages such as: high homogeneity, control of nanoparticle size, control of morphology and low temperatures synthesis (below 21ºC). This method begins with a chemical solution, *"sol"*, that acts as a precursor. This precursor undergoes various hydrolysis and condensation reactions to form a colloidal dispersion, *"gel"*, from slow polymerization. The partial dehydration of the *"gel"* produces a solid residue that is known as *"xerogel"*, obtained by heat treatment, and *"aerogel"*, when it is dried by evaporation, resulting in the nanostructured material [7].

In this work, the synthesis of Salek [8], was improved to obtain Cu_2O nanoparticles. The resulting nanoparticles were characterized by X-ray diffraction, scanning eletron microscopy and UV-Vis spectroscopy, in order to analyze their microstructural and optical properties.

2 | EXPERIMENTAL

The cuprous oxide nanoparticles were synthesized via the Sol-Gel method. Initially 0.80 g of copper sulphate pentahydrate (99% $CuSO_4{:}5H_2O$) was dissolved as a precursor salt in 10 ml of deionized ultrapure water, kept stirring for 3 minutes. In the sequence, 0.50 g of potassium hydroxide (KOH) was mixed with 140 ml of ultrapure deionized water, kept stirring for 3 minutes. Hydrolysis was achieved by mixing the precursor salt together with potassium hydroxide, stirring vigorously for 12 minutes to obtain copper hydroxide. Subsequently, 0.20 g of ascorbic acid was mixed in 50 ml of ultrapure deionized water, kept stirring for 3 minutes. Finally, it is added to the copper hydroxide, kept shaking vigorously for 1 hour until a gel is formed. After that, it was removed from the stirrer, leaving it well covered in a dry place for 24 hours. The formation of the xerogel is observed. Finally, the liquids were extracted with a micropipette obtaining 400 mg of Cu_2O nanoparticles in powder.

The Cu_2O nanoparticles were deposited on glass substrates (for UV-Vis measurements and microscopy images) and Si substrates (for XRD measurements) using the drop casting method. Prior to deposition, 200 mg of this nanomaterial was dispersed in 400μl of deionized ultrapure water to improve the homogeneity of the dispersion. Different deposition volumes, 40μl, 50μl and 60μl, were used in order to obtain films thicknesses with approximately 320 nm, 490 nm and 470 nm, respectively, doing it in low vacuum to avoid oxygen pressure on the sample and allowing it to dry for 24 hours. Finally, the Cu_2O nanoparticle films were submitted to a thermal treatment at 175ºC in a vacuum oven (pressure of 65 mmHg) for 0, 15, 30 and 45 minutes, to evaporate possible liquid residues.

Reagents potassium hydroxide, copper sulfate pentahydrate and ascorbic acid from Sigma Aldrich were used as received. Wide-angle powder X-ray diffraction (XRD) patterns were recorded with a Shimadzu XRD-7000 diffractometer operating at 40 kV and 20 mA (Cu-Kα radiation λ =1.5418 Å) with monochromator (scan speed of 2º min^{-1}) in the 2θ angle range from 20º to 65º, from which was possible to determine the composition of the crystalline phase and crystal sizes. A scanning electron microscope Tescan Vega 3, at an electron acceleration voltage of 10 kV, was used to observe the shape and size of the cuprous oxide nanoparticles. The images were analysed using the Image J software. UVVis transmittance spectroscopy was made using a UV visible spectrophotometer Perkin Elmer Lambda 1050.

3 | RESULTS AND DISCUSSION

From the X-ray diffractograms of annealed and not annealed Cu_2O nanoparticles, Figure 1, it is possible to identify the characteristic peaks at 29.6º, 36.2º, 42.3º and 61.7º of Cu_2O corresponding to the crystalline planes (110), (111), (200) and (220), as well as peaks at 32.7º and 35.6º corresponding to CuO at the (110) and (−111) crystalline planes,

indicating that both materials are formed in the synthesis process. As the exposure time to 175ºC increases, small phase changes occur corresponding to the characteristic peaks of copper oxide at 32.7º and 35.6º. Substrate Si characteristic peaks occurs at 28.4º, 47.5º and 56.3º. Making use of the Debye-Scherrer equation [9], the crystal size can be estimated as 44.3, 42, 41 and 37 for the 0, 15, 30 and 45 minutes of annealing duration, respectively, indicating that the annealing process slightly decreases the crystal size.

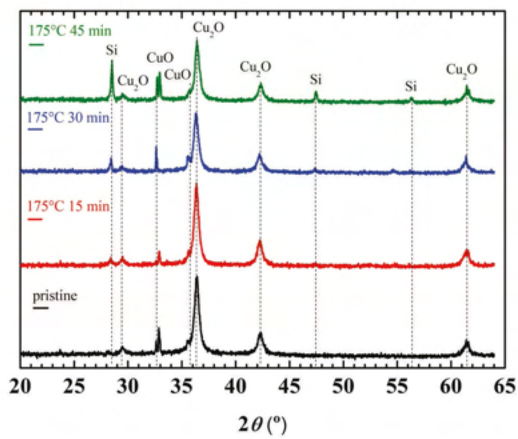


Figure 1: X-ray diffractograms of Cu_2O nanoparticles submitted to in vacuum thermal treatment of 175ºC for 0 minutes (black); 15 minutes (red); 30 minutes (blue); and 45 minutes (green).

Scanning electron microscopy was realized on Cu_2O samples in order to investigate the shape and size of the synthesized nanoparticles. Figures 2a-d present the obtained images with their respective histograms of samples submitted to thermal treatment of 175ºC for 0, 15, 30 and 45 minutes, respectively. For the no thermal treatment sample, one can observe that the nanoparticles have a spherical shape with an average size of 95 nm. For the sample exposed to 15 minutes thermal treatment, one can observe that the nanoparticles shape and size does not significantly change, with the average size being 95 nm. However, it seems that some nanoparticles have fused, probably due to the annealing temperature. For the sample exposed to 30 minutes thermal treatment, one can observe that the nanoparticles shape and size starts to significantly change, with the average size being 98 nm. In this case, there is more evidence that the nanoparticles are fusing due to the long annealing time at 175ºC. Finally, for the sample exposed to 45 minutes thermal treatment, one can observe that the nanoparticles shape and size significantly change, with the average size being 127 nm. It is clear from this image that the nanoparticles have fused due to the long exposure time of the annealing process. Interestingly, although the nanoparticles have fused and increased in size, there is no change in its crystalline structure, as evidenced by the XRD measurements, which implies that in a sufficiently long annealing

time, Cu_2O microparticles can form.

Considering that the absorbance depends on parameters such as crystalline structure,

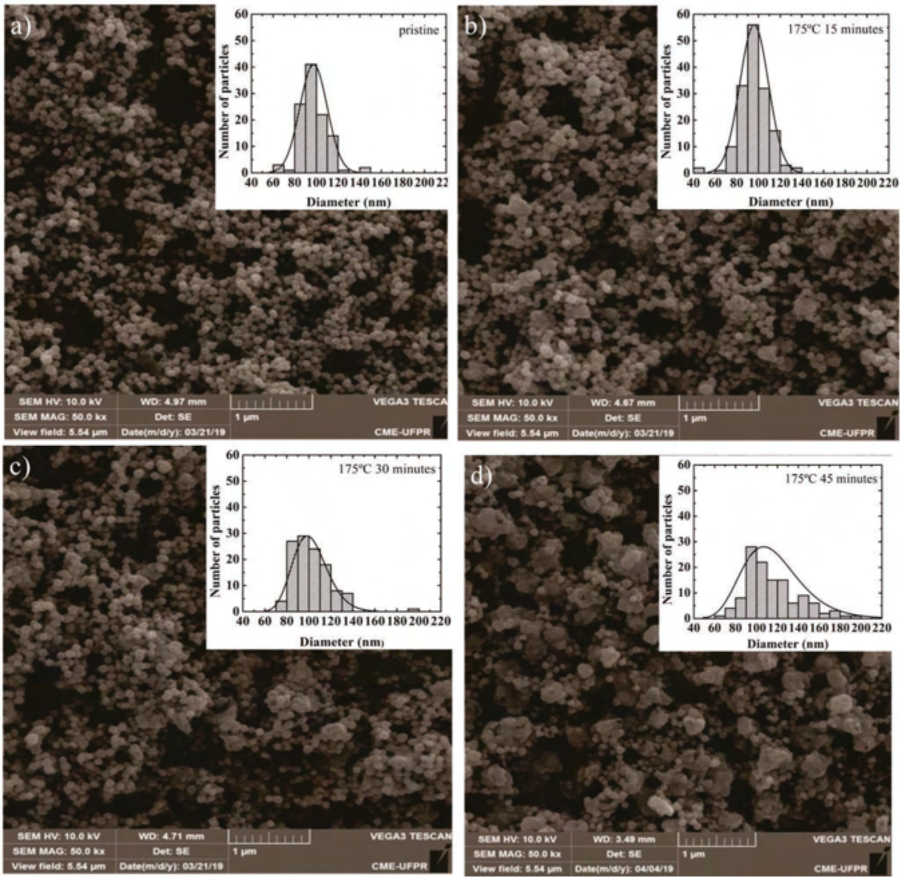


Figure 2: SEM images with its respective histograms expressing the size of the nanoparticles of Cu_2O nanoparticles submitted to a thermal treatment of 175ºC for a) 0 minutes, b) 15 minutes, c) 30 minutes and, d) 45 minutes.

Morphology, surface roughness and thickness of the thin film [10], it can be seen on Figure 4a that the absorbance of the Cu_2O nanoparticles depends on the exposure time to the thermal treatment. Since the nanoparticles tend to fuse, the size of the effective nanoparticles increases, which tends to decrease the band gap energy and allow the absorption of lower energy photons. In addition, longer exposure to annealing processes tend to increase the existence of defects on the crystalline structure due to the nanoparticles fusion. The optical band gap for the Cu_2O samples, obtained from Figure 4b, is estimated in 2.1 eV, 2 eV, 2.1 eV and 1.9 eV for 0, 15, 30 and 45 minutes annealing times at 175ºC, respectively. These values agree well with theoretical ones for a direct band gap energy

of 2.1 eV [11]. It is important to note that the band gap may be sensitive to the size of the nanoparticles: increasing diameter size decreases band gap energy, mainly, due to the quantum confinement effect [1, 12].

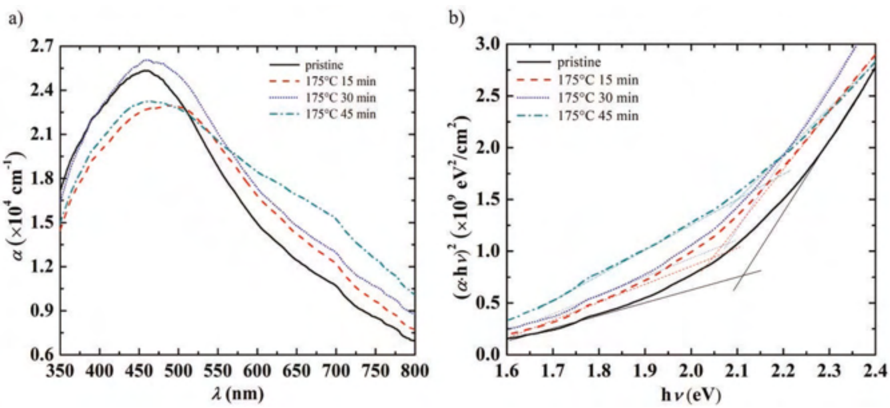


Figure 3: a) Absorption coefficient b) band gap energy of Cu_2O nanoparticles.

4 I CONCLUSION

Nanoparticles of Cu_2O were synthesized vai Sol-Gel. The XRD measurements confirmed its synthesis and, in addition, the thermal treatment at 175ºC for 45 minutes was not able to change its crystalline structure. SEM images showed that the nanoparticles tend to fuse with increasing annealing time, which changes its shape and size. The average diameter sizes are 95 nm, 95 nm, 98 nm and 127 nm for 0, 15, 30 and 45 minutes annealing times, respectively. This fusion process and the consequent increase in size of the nanoparticles slightly reduces the energy of the bandgap from 2.1 eV to 1.9 eV.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior—Brasil (CAPES) — Finance Code 001 and the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico — Brasil (CNPq). The authors thank the Centro de Microscopia Eletrônica (UFPR) for providing access to the SEM facilities and Laboratório de Óptica de Raios X (UFPR) for providing access to the XRD facilities.

REFERENCES

1. A.A. Hssi, L. Atourki, N. Labchir, M. Ouafi, K. Abouabassi, A. Elfanaoui, A. Ihlal, K. Bouabid, Optical and dielectric properties of electrochemically deposited p-Cu_2O films, Mater. Res. Expr. 7 (2020) 16424. https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab6772

2. M. Abdelfatah, W. Ismail, N.M. El-Shafai, A. El-Shaer, Effect of thickness, bandgap, and carrier concentration on the basic parameters of Cu_2O nanostructures photovoltaics: numerical simulation study, Mater. Technol. 36 (2020) 712. https://doi.org/10.1080/10667857.2020.1793092

3. L. Yan, F. Yang, C. Tao, X. Luo, L. Zhang. Highly efficient and stable Cu_2OTiO_2 intermediate photocatalytic water splitting. Ceramics international (2020), https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.12.206.

4. A. Koiki, A. Arotiba, Cu_2O as an emerging semiconductor in photocatalytic and photoelectrocatalytic treatment of water contaminated with organic substances: a review, RSC Advances. 60 (2020) 36514-36525. https://sci-hub.mksa.top/10.1039/d0ra06858f.

5. Z. -W. Shang, H. -H. Hsu, Z. -W. Zheng, C. -H. Cheng, Progress and challenges in p-type oxide-based thin film transistors, Nanotechnology Review. 1 (2019) 422–443. https://doi.org/10.1515/ntrev-2019-0038.

6. M. A. Fakhri1, M. M. Hassan, Morphological and Structural Properties of Cu2O/ 2-D Photonic Silicon Nano Structure for Gas Sensors, AIP Conference Proceedings. 2213 (2020) 020244. https://doi.org/10.1063/5.0000212.

7. P. Jittiarporn, S. Badilescu, M. N. Al Sawafta, L. Sikong, V. -V. Truong, Electrochromic Properties of Sol-Gel Prepared Hybrid Transition Metal Oxides A Short Review, Journal of Science: Advanced Materials and Devices. (2017). https://doi: 10.1016/j.jsamd.2017.08.005.

8. G. Salek, C. Tenailleau, P. Dufour, S. Guillemet-Fritsch, Room temperature inorganic polycondensation of oxide (Cu2O and ZnO) nanoparticles and thin films preparation by the dip-coating technique, Thin Solid Films, 589 (2015) 872–876. https://doi.org/10.1016/j.tsf.2015.04.082.

9. Y. Waseda, E. Matsubara, K. Shinoda, X-Ray Diffraction Crystallography, (2011) https://doi.org/10.1007/978-3-642-16635-8.

10. D. Gupta, S.R. Meher, N. Illyaskutty, Z.C. Alex, Facile synthesis of Cu_2O and CuO nanoparticles and study of their structural, optical and electronic properties. Journal of alloys and compounds, 743 (2018) 737-745. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.01.181

11. P. Sawicka-Chudy, M. Sibinski, R. Pawelek, G. Wisz, B. Cieniek, P. Potera, P. Szczepan, S. Adamiak, M. Cholewa, T. Gtowa, Characteristics of TiO_2, Cu_2O, and TiO_2/Cu_2O thin films for application in PV devices, AIP Advances, 9 (2019) 055206. https://doi.org/10.1063/1.5093037.

12. Z. Razmara, M.S.M Abdelbaky, S. García-Granda, Synthesis and crystal structure of a new copper (II) complex, designed to produce efficient successor of Cu2O, toward synergy of adsorption and photodegradation of MB, Applied organometallic chemistry, Vol.34 (2020). https://doi.org/10.1002/aoc.5639.

CAPÍTULO 23

GESTÃO ESTRATÉGICA DAS TECNOLOGIAS COGNITIVAS: UMA PESQUISA EXPLORATÓRIA NA ÁREA DA SAÚDE

Data de aceite: 01/03/2022

Gerson Tolentino Galvão Leite Andrade
Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – Campus Marquês de Paranaguá

Getúlio Kazue Akabane
Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – Campus Marquês de Paranaguá

RESUMO: A presente proposta tem como estudo, a viabilidade de uma Plataforma de Produtos para a Saúde, cuja finalidade é o mapeamento e a disponibilização das informações sobre Recalls e Notificações de dispositivos médicos com base nos recursos da Tecnologia Digital em apoio ao Gerenciamento de Risco na Área da Saúde. Após estudos e análises permitiu ter uma visão da limitação e a deficiência do setor da saúde e a importância da Plataforma Digital para suprir necessidades do setor visando: proporcionar conhecimento aos profissionais da área; agrupar e concentrar as informações e; automatizar o processo de monitoramento de alertas de dispositivos e de insumos médicos. Além disso, visa adotar algoritmos capazes de realizar a busca inteligente das informações com considerável redução do tempo em que os Estabelecimentos Assistenciais de Saúde gastam para monitorar seu parque de Dispositivos Médicos.
PALAVRAS-CHAVE: Recall, Inteligência Artificial, Tecnologias Cognitivas, Gerenciamento de Risco.

ABSTRACT: The present proposal has as a study, the feasibility of a Health Products Platform, whose purpose is to map and make available information about Recalls and Notifications of medical devices based on Digital Technology resources in support of Risk Management in the Area of health. After studies and analysis, it allowed us to have a view of the limitation and deficiency of the health sector and the importance of the Digital Platform to meet the sector's needs in order to: provide knowledge to professionals in the area; to group and concentrate the information and; Automate the process of monitoring device and medical device alerts. In addition, it aims to adopt algorithms capable of performing an intelligent search for information with a considerable reduction in the time that Health Care Establishments spend to monitor their Medical Devices park.
KEYWORDS: Recall, Artificial Intelligence, Cognitive Technologies, Risk Management.

INTRODUÇÃO

Conforme pesquisa conduzida pela Deloitte Consulting (Batra, Betts e Davis, 2020), os cuidados de saúde como os conhecemos hoje não existirão mais. Embora a doença nunca seja completamente eliminada por meio de ciência, dados e tecnologia, seremos capazes de identificá-la mais cedo, intervir proativamente e entender melhor sua progressão para ajudar os consumidores de maneira mais eficaz e ativa a sustentar o seu bem-estar.

Wamba e Ngai (2013) destacam a

Saúde como uma das Indústrias mais complexas por incluir desafios como a segurança do paciente, capacidade de mapear e rastrear equipamentos e produtos farmacêuticos, fluxo de produtos de fabricantes para os pacientes, entre outros aspectos.

Através da inovação que tem ocorrido no universo dos Produtos para Saúde, a sua utilização tem levado a uma melhora significativa da qualidade de vida da população mundial, sendo sua contribuição indispensável na prevenção e combate de diversas patologias, bem como na reabilitação de pacientes (OMS, 2017).

De acordo com a OMS o número ascende até 1,5 milhões de dispositivos a nível global (OMS, 2017). A indústria de produtos para a saúde é globalmente organizada, mas as funções de fiscalização dos governos acabam nas fronteiras. Por exemplo, um mesmo produto pode mudar de nome conforme o país e os números de registro, variar, o que dificulta o rastreamento de dispositivos objetos de recall. Não há consenso internacional sobre padrões de segurança que garantam a comercialização de produtos para a saúde. Tampouco existe um sistema de aviso para propagar alertas e recalls a pacientes e operadoras de saúde para além das fronteiras nacionais.

Calcular as taxas de sucesso e a falha de um EMA em diferentes mercados é uma tarefa dificultada pelo fracasso de órgãos reguladores e fabricantes em identificá-los e conectá- los de maneira consistente. A ausência de um sistema de registro numérico universal com os dados disponíveis é a raiz de diversos problemas que levam pacientes de um país a receber implantes que foram objeto de recall em outro país por causa de riscos comprovados à saúde. Embora alguns países tenham criado legislações e defendido um sistema de registro numérico universal, até o momento nenhuma iniciativa foi posta em prática.

Evento Adverso / Queixa Técnica - A definição de Evento Adverso, segundo Anvisa, é de qualquer efeito não desejado, em humanos, decorrente do uso de pro-dutos sob vigilância sanitária. A agência ainda defina Queixa Técnica como uma alteração ou irregularidade de um produto ou empresa relacionada a aspectos técnicos ou legais e que poderá ou não causar danos à saúde individual e coletiva. (RDC67, 2009).

Dados obtidos no Notivisa de notificações em Tecnovilância um total de 178.150 de 01 de janeiro de 2006 até 31 de agosto de 2021, sendo que Evento Adverso ocupa 15,28% do total das notificações e os demais por Queixa Técnica. Só no ano de 2021 até a presente data supracitada já foram notificados 9.907 casos. Já no que se diz respeito a farmacovigilância no painel da VigiMED ferramenta da ANVISA já foram notificados 42.777 por colaborados, industrias, pacientes e EASs. (BRASIL, 2009).

Gerenciamento de Risco em Saúde - O risco, segundo a Anvisa, é a combinação da probabilidade de ocorrência de um dano e a gravidade de tal dano. Já o Gerenciamento de Riscos é a tomada de decisões relativas aos riscos ou a ação para a diminuição das consequências ou da probabilidade do evento.

No intuito de minimizar os riscos potenciais de eventos adversos que se faz

necessário conhecer e controlar esses riscos. Para isso se deve realizar o Gerenciamento de Riscos em Saúde de forma sistêmica e contínua de políticas, de procedimentos, de condutas e de recursos na avaliação de riscos e eventos adversos que comprometem a segurança, a saúde a fim de obter o bem-estar físico, psíquico e moral dos pacientes, dos colaboradores, do meio ambiente e até mesmo da imagem institucional.

Por meio da RDC 2/2010 da Anvisa, o Gerenciamento de Riscos passou a ser uma exigência desta Agência aos estabelecimentos de saúde, pois requer que ele possua uma sistemática de monitorização e gerenciamento de risco das tecnologias em saúde, visando a redução e minimização da ocorrência dos eventos adversos, além disso, deve notificar ao Sistema Nacional de Vigilância Sanitária os eventos adversos e queixas técnicas envolvendo as tecnologias em saúde. (RDC2, 2010).

A TECNOLOGIA COGNITIVA EM SAÚDE

As tecnologias cognitivas são uma evolução na computação que imita alguns aspectos dos processos de pensamento humano numa escala maior. Neste caso, aumenta a capacidade para processar grande volume de dados e informações disponível no domínio científico e ambiental.

Porém ainda assim, cognição humana tem limitações, das quais incluem escalabilidade e o viés. Os sistemas cognitivos tentam imitar aspectos do pensamento humano ao adicionar a capacidade de manipular grandes quantidades de informações e avaliá-lo sem preconceito. Na comunidade informática, a definição da computação cognitiva é um tema de debate. É frequentemente associado à inteligência artificial (AI), um campo da tecnologia que abrange aspectos gerais da inteligência. De fato, a IA inclui as habilidades relacionadas com o raciocínio e resolução de problemas, mas também percepção (reconhecimento e visão do rosto) e a capacidade de manipular objetos (robótica).

Conforme ANVISA, os equipamentos médicos estão inseridos na categoria de produtos para a saúde em conjunto com os materiais de uso em saúde e os produtos de diagnóstico de uso in vitro. São compostos, na sua grande maioria, pelos produtos médicos ativos, implantáveis ou não implantáveis. Podem existir equipamentos médicos não ativos, como cadeiras de rodas, macas, camas hospitalares, mesas cirúrgicas, cadeiras para exame, dentre outros.

Assim, os equipamentos médicos sob regime de Vigilância Sanitária compreendem todos os equipamentos de uso em saúde com finalidade médica, odontológica, laboratorial ou fisioterápica, utilizados direta ou indiretamente para diagnóstico, terapia, reabilitação ou monitorização de seres humanos e, ainda, os com finalidade de embelezamento e estética.

Os produtos para saúde são classificados, segundo a RDC nº 185/01, em quatro classes de risco, conforme o risco associado na utilização dos mesmos:

- Classe I – baixo risco

- Classe II – médio risco
- Classe III – alto risco
- Classe IV – máximo risco.

Dentro do enquadramento da regra obedece à indicação e à finalidade de uso do material indicada pelo fabricante, função pretendida, há determinação da regra e da classe de risco do produto e não da classe de risco atribuída a outros produtos similares, devendo obedecer aos seguintes critérios:

- Produtos não invasivos: Regras 1, 2, 3 e 4
- Produtos invasivos: Regras 5, 6, 7 e 8
- Produtos ativos: Regras 9, 10, 11, 12
- Regras Especiais: Regras 13, 14, 15, 16, 17 e 18

Equipamentos Médicos: “O Mercado Brasileiro”

Segundo o boletim econômico da ABIIS este mercado movimentou US$ 10,5 bilhões em 2018. As importações totalizaram US$ 5,4 e a produção nacional atingiu US$ 5,7 bilhões em negócios. Constam principalmente de equipamentos e aparelhos eletromédicos e eletroterapêuticos e de irradiação.

Ainda conforme a ABRALOG, em 2018 o Brasil possui respectivamente 18.707 empresas sendo 1.322 Fabricantes correspondentes a 27% do mercado e 1.655 Importadores de 88 países com outros 73%.

Já em 2020 dados do Boletim Econômico da ABIIS demonstram um crescimento de 21,2% na importação de DMAs, no primeiro semestre, em relação ao mesmo período de 2019. As exportações somaram US$ 338 milhões, um crescimento de 16,8%, no período em questão. “A balança comercial do período ficou deficitária em US$ 2,8 bilhões, mostrando que a pandemia causada pela Covid-19 se refletiu no aumento de 21,8% no déficit da balança comercial do setor”, afirma o documento.

Reagentes e Analisadores para Diagnóstico in vitro foram importados 32% mais e exportados 82% acima do que nos seis primeiros meses de 2019. Demais equipamentos de uso hospitalar tiveram alta de 37% nas importações. A China é o principal país exportador de dispositivos médicos para o Brasil, com compras no valor de US$ 818,6 milhões, no acumulado de janeiro a junho de 2020. Isso representa 26% do total. Os Estados Unidos ocupam o segundo lugar (17%) e a Alemanha o terceiro (13%).

Atualmente temos registrados no CNES um total de 2.118.771 equipamentos, sendo 2.015.063 equipamentos aptos para uso. Ao analisar observamos que deste total 1.149.279 são registrados em EASs ligados ao SUS.

Processo de Certificação de Dispositivos Médicos

Observamos duas rotas para aprovação desenvolvidas pela Anvisa: cadastro e

registro. O cadastro é mais simples e rápido para dispositivos de menor risco, mas ambas exigem documentação semelhante.

A aprovação pode requerer uma auditoria de Boas Práticas de Fabricação (BPF) no fabricante, a qual deve ser realizada antes do envio do registro do produto, pois a certificação é um pré-requisito em alguns casos. Os produtos devem ser classificados antes do registro para determinar se uma auditoria de GMP será necessária segundo RDC nº 185, de 22 de outubro de 2001, embora legislações complementares também sejam utilizadas neste processo. Para a notificação de produtos para saúde de classe de risco I e a notificação de produtos para saúde de classe de risco II, as resoluções são as RDC n° 270/2019, RDC n° 40/2015 e RDC n° 423/2020, respectivamente.

O registro ou a notificação são pedidos por meio de apresentação à ANVISA por meio de uma petição de solicitação de registro ou notificação, composta de documentos e informações indicadas na RDCs supracitadas e outras legislações pertinentes para constituir um processo documental, sendo analisado pelo corpo técnico da ANVISA que irá deliberar sobre o deferimento do pleito, podendo solicitar informações e documentos complementares, quando necessário.

A concessão do registro ou notificação é tornada pública por meio da sua publicação de deferimento em Diário Oficial da União – DOU (registro e notificação) e pela publicação no Portal da ANVISA (notificação).

Segundo o Manual para Regularização de Equipamentos Médicos na Anvisa versão 12/2021, formulado pela Gerência de Tecnologia em Equipamentos Médicos – GQUIP, o registro ou notificação do produto na Anvisa corresponde a uma sequência numérica composta de 11 números, figura I, dos quais os sete primeiros correspondem ao número de Autorização de Funcionamento da Empresa – AFE, e os quatro últimos são sequenciais, obedecendo à ordem crescente de registros e notificações concedidos para a mesma empresa. Desta forma, cada registro ou notificação concedido é representado por uma sequência numérica única gerada automática e eletronicamente.



Figura I – Formação do número de Registro Anvisa para Equipamento Médico.

Fonte: GGMON, 2021.

ÓRGÃOS COMPETENTES

Food and Drug Administration (FDA)

FDA é uma agência federal do Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos, responsável por proteger e promover a saúde pública por meio do controle e supervisão da segurança alimentar, produtos de tabaco, suplementos alimentares, medicamentos farmacêuticos vendidos com e sem receita (medicamentos), vacinas, produtos biofarmacêuticos, transfusões de sangue, dispositivos médicos, dispositivos emissores de radiação eletromagnética, cosméticos, alimentos, rações para animais e produtos veterinários. Embora não fosse conhecido por seu nome atual até 1930, as funções regulatórias modernas do FDA tiveram seu início com a aprovação da *Pure Food and Drugs Act* de 1906, uma lei que estava sendo elaborada há um quarto de século e proibia o comércio interestadual de alimentos e medicamentos adulterados e com marcas errôneas.

Desde então, a FDA vem acompanhando as mudanças junto com a sociedade, a economia, as políticas e legislações nos EUA o que permite uma evolução constante para desempenhar na promoção e na proteção da saúde pública, sendo referência em todo o mundo. Vale ressaltar que esta comunidade envolve fabricantes de equipamentos, medicamentos, insumos, instrumentos e dispositivos de saúde, órgãos reguladores locais e globais, comunidade clínica (Hospitais, Institutos de pesquisa, clínica médica de consulta, diagnósticos e análises, pacientes regulares e eventuais, advogados e familiares do paciente, comunidade especializadas em saúde) que estejam diretas ou indiretamente relacionados com a saúde pública.

Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA)

A ANVISA foi criada na República Federativa do Brasil pela Lei nº 9.782/99, regulamentada pelo decreto nº 3.029/99 e pela Portaria ANVISA nº 593/00, a qual aprovou o seu Regimento Interno. Sendo uma autarquia sob regime especial tem por finalidade institucional promover a proteção da saúde da população, por intermédio do controle sanitário da produção e consumo de produtos e serviços submetidos à vigilância sanitária, inclusive dos ambientes, dos processos, dos insumos e das tecnologias a eles relacionados, bem como o controle de portos, aeroportos, fronteiras e recintos alfandegados. (BRASIL,1999).

As principais competências da ANVISA previstas na lei são: fomentar e realizar estudos e pesquisas. Além disso, deve estabelecer normas, propor, acompanhar e executar as políticas, as diretrizes e as ações de vigilância sanitária. No escopo de suas competências, cabe a agência o estabelecimento de normas e de padrões, concessão de registros de produtos; monitorar e auditar os órgãos e entidades estaduais, distrital e municipais que integram o Sistema Nacional de Vigilância Sanitária; além de autuar e aplicar as penalidades. A ANVISA possui setores para vigilância de Produtos para a Saúde,

são elas:

- Farmacovigilância focada na detecção, avaliação, compreensão e prevenção dos efeitos adversos ou quaisquer problemas relacionados a medicamentos.
- Hemovigilância incide na identificação, análise e prevenção de efeitos indesejáveis imediatos ou tardios advindos do uso de sangue e seus componentes.
- Saneantes visa a detecção, avaliação, compreensão e prevenção das queixas técnicas e acidentes ocorridos com produtos de limpeza, como os detergentes, alvejantes, desinfetantes, desodorizantes, esterilizantes, desinfetantes de água, água sanitária e os inseticidas.
- Tecnovigilância que consiste em um sistema de vigilância de eventos adversos e queixas técnicas de produtos para a saúde na fase de pós-comercialização, com vistas a recomendar a adoção de medidas que garantam a proteção e a promoção da saúde da população. Está relacionada à vigilância da qualidade de equipamentos, materiais e artigos médico-hospitalares, implantes e produtos para diagnóstico de uso "in-vitro".

As notificações e disponibilizações das informações pela Tecnovigilância ocorre através da emissão de alertas em seu website (http://portal.anvisa.gov.br/alertas) dos eventos adversos e queixas técnicas relacionadas a produtos para saúde. E apresentam as seguintes informações:

- Área: GGMON
- Número Alerta
- Ano: 2020
- Resumo: (Tecnovigilância)
- Nome da Empresa
- Nome do produto
- Identificação do produto ou caso:
- Nome Comercial;
- Número de Registro ANVISA:
- Nome Técnico:
- Tipo de produto:
- Equipamento.
- Classe de Risco: III;
- Números de série afetados, versão do Software.
- Descrição do Problema:
- Ação: Ação de Correção no Campo/Laboratório.

- Carta ao cliente/usuário.
- Nota de Segurança de Campo.
- Histórico:
- Empresa detentora do registro: CNPJ, Endereço, Telefone E-mail de contato
- Fabricante do produto: Brasil ou exterior
- Recomendações:

Essas notificações são feitas pela empresa detentora do registro em atendimento à RDC 23/2012 (que dispõe sobre a obrigatoriedade de execução e notificação de ação de campo por parte do detentor do registro do produto para a saúde).

OBJETIVOS

Estudo da viabilidade da Plataforma de gestão de Risco dos Produtos para a Saúde. Com foco em mapear e disponibilizar informações sobre Recalls e Notificações.

Examinar os Banco de dados disponibilizados por Órgãos Competentes em saúde; Entendimento do setor de saúde por meio de pesquisa de campo; Criação de Dashboard para publicação do formulário aplicado; Criação de algoritmo como MVP de automatização do monitoramento de Recall, alertas e notificações de Dispositivos Médicos; Estudo de método para confecção de uma Plataforma Digital.

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste projeto, foi utilizado metodologia quantitativa e qualitativa. Neste estudo foi realizada pesquisa sistemática por meio de consulta ao acervo de bibliotecas; consulta a revistas e periódicos especializados, artigos científicos, monografias ligadas ao tema, e livros de editoras e entidades especializadas nas áreas da Saúde como Produtos para a Saúde.

Segundo Gil (2008), a pesquisa qualitativa visa proporcionar maior familiaridade com um problema e tem o objetivo de torná-lo explícito, aumentar o conhecimento acerca do fenômeno e sugerir um estudo superior. De forma análoga, Andrade (2002) destaca que a pesquisa descritiva se preocupa em observar os fatos, registrá-los, analisá-los, classificá-los, e interpretá-los e o pesquisador não interfere neles.

Ao que corresponde a abordagem, podemos classificar como pesquisa quantitativa, visto que, através de questionários foi realizada uma Pesquisa para auxiliar no entendimento do problema com profissionais da área. Pesquisa quantitativa é apropriada para medir opiniões, atitudes e preferências como comportamentos. Ela também é usada para medir o público-alvo, estimar o potencial e validar uma hipótese e para medir o tamanho e a importância. Para o sucesso de uma inovação é necessário que se faça um estabelecimento

de metas, onde se deve verificar se o projeto irá satisfazer os objetivos propostos; se será bem aceito pelos usuários; se possuirá um custo acessível (BAXTER, 2005).

JUSTIFICATIVA

Através da inovação que tem ocorrido no universo dos Produtos para Saúde, a sua utilização tem levado a uma melhora significativa da qualidade de vida da população mundial, sendo sua contribuição indispensável na prevenção e combate de diversas patologias, bem como na reabilitação de pacientes (OMS, 2017).

Segundo a ANVISA, através da RDC nº 02, de 25 de janeiro de 2010, EMA é definido como equipamento ou sistema, inclusive seus acessórios e partes de uso ou aplicação médica, odontológica ou laboratorial, utilizado direta ou indiretamente para diagnóstico, terapia e monitoração na assistência à saúde da população, e que não utiliza meio farmacológico, imunológico ou metabólico para realizar sua principal função em seres humanos, podendo, entretanto, ser auxiliado em suas funções por tais meios (RDC 02, 2010).

Os produtos médicos são classificados em quatro classes diferentes de risco, segundo a ANVISA, mediante a Resolução RDC nº. 185, de 22/10/2001, classifica os produtos médicos, nos quais estão inseridos os EMAs, segundo o risco intrínseco que representam à saúde do consumidor, paciente, operador ou terceiros envolvidos (RDC 185, 2001).

Através da modernização dos EMAs e das tecnologias aliadas à sua fabricação, os profissionais conseguem ter acesso às informações, mais detalhadas e rapidamente, aumentando a precisão do diagnóstico e consequentemente do seu tratamento. Existe um número considerável de Produtos para Saúde, desde os mais simples, como uma ligadura, uma seringa ou um par de luvas de látex, ao mais complexo equipado com a mais recente tecnologia. Esta enorme variedade de dispositivos e insumos está presente no nosso cotidiano, desde centros de saúde a hospitais especializados.

De acordo com a OMS o número ascende até 1,5 milhões de dispositivos a nível global (OMS, 2017). A indústria de produtos para a saúde é globalmente organizada, mas as funções de fiscalização dos governos acabam nas fronteiras. Por exemplo, um mesmo produto pode mudar de nome conforme o país e os números de registro, variar, o que dificulta o rastreamento de dispositivos objetos de recall. Não há consenso internacional sobre padrões de segurança que garantam a comercialização de produtos para a saúde. Tampouco existe um sistema de aviso para propagar alertas e recalls a pacientes e operadoras de saúde para além das fronteiras nacionais.

Calcular as taxas de sucesso e a falha de um EMA em diferentes mercados é uma tarefa dificultada pelo fracasso de órgãos reguladores e fabricantes em identificá-los e conectá-los de maneira consistente. A ausência de um sistema de registro numérico

universal com os dados disponíveis é a raiz de diversos problemas que levam pacientes de um país a receber implantes que foram objeto de recall em outro país por causa de riscos comprovados à saúde. Embora alguns países tenham criado legislações e defendido um sistema de registro numérico universal, até o momento nenhuma iniciativa foi posta em prática.

A motivação surgiu a partir das dores relatadas pelos profissionais da área e o tempo despendido para realizar uma busca ativa sobre informações de um Produto para Saúde, sendo um empecilho para o Gerenciamento de Risco de Produtos para a Saúde. Este projeto é essencial e um estudo sistemático do tema para que essas diversas dificuldades encontradas - tópicos infracitados - e muitas outras não citadas aqui sejam aos poucos sanadas e que a viabilidade e a compreensão da necessidade de uma plataforma integrada sejam levadas em consideração para futuros estudos no setor da saúde.

Formulação do Questionário

Recalls, Alertas e Field Safety Notice em Equipamentos, Medicamentos e Reagentes

Obrigado por participar desta pesquisa que foi elaborada para compreendermos melhor como estabelecimentos de saúde e profissionais da área tem atuado frente ao possível recebimento de RECALLS, ALERTAS, Field Safety Notice (FSN) relacionados a Equipamentos Médico-Assistenciais (EMAs), Medicamentos e Reagentes. Os resultados serão divulgados nos mesmos grupos onde este questionário foi postado ou, se preferir deixar seu e-mail, enviaremos o resultado através dele.

- Recall, ou chamamento, é o procedimento gratuito pelo qual o fornecedor informa o público e/ou eventualmente o convoca para sanar os defeitos encontrados em produtos vendidos ou serviços prestados. O objetivo essencial do Recall é proteger e preservar a vida, a saúde, a integridade e a segurança do consumidor, além de evitar e minimizar prejuízos físicos ou morais.

Figura II - Introdução do questionário proposto.

O questionário, Anexo 3, consiste em 20 perguntas, cada uma com as configurações e as opções pertinentes ao que foi analisado junto a um profissional competente.

Foi disponibilizado o link do questionário em grupos de WhatsApp, canais e grupos de comunicações de Facebook e LinkedIn voltados ao assunto de Engenharia Biomédica e Clínica.

Posteriormente, houve a realização de uma análise estatística simples, utilizando cálculos de porcentagem. Os dados obtidos no questionário passaram por um tratamento com a ferramenta Excel, posteriormente utilizaremos a ferramenta Power BI.

Dados sobre *Recall*, Notificações e Alertas

Houve o levantamento de dados sobre o número absoluto de notificações realizadas através do NOTIVISA, tendo como informações dados de todas as circunstâncias

notificáveis possíveis pelo sistema disponível no seu website.

Além disso, a ANVISA em busca de tornar disponíveis as informações, figura III, com uma Inteligência analítica foram capazes de transformarem os dados brutos de dispositivos médicos em dados inteligíveis com interfaces visuais para dar aos usuários a capacidade de realizar os mais diversos tipos de análise para a tomada de decisão e posterior ação que permitiu vislumbrar a proporção do Queixas e Alertas de equipamentos médicos para este estudo (https://www.gov.br/anvisa/pt-br/acessoainformacao/dadosabertos/informacoes-analiticas/tecnovigilancia).



Figura III – Interface Visual NOTIVISA.

Fonte: Tecnovigilância, 2021.

Há um banco de dados, disponibilizado pela ANVISA, que traz informações sobre dispositivos médicos regularizados e com registro válido na Agência no formato .CSV (https://dados.anvisa.gov.br/dados/TA_PRODUTO_SAUDE_SITE.csv) populado com os dados básicos como: nome do produto, número do registro ou do cadastro, detentor do registro ou do cadastro, nome do fabricante e país de fabricação.

A atualização dos dados é diária, no dia útil anterior à data do acesso (D-1), sempre considerando os produtos que tiveram a validade expirada ou foram cancelados e os novos produtos regularizados em consonância à Lei de Acesso à Informação.

Desta forma, o projeto teve acesso aos registros vigentes e regularizados de todos os dispositivos médicos comercializados no Brasil.

Obtenção de Informações de Recall e Busca Ativa

Nos estudos realizados para esta iniciação científica foi observado que há três formas para obtenção de informações de Recall, Alertas e notificações.

A primeira seria pelo cadastro no site para recebimento de e-mails dos órgãos regulatórios como FDA e ANVISA. Entretanto, este método mesmo que seja um avanço ao apoio para o Gerenciamento de Risco nos EAss não se faz eficaz. O fato deste método ser atrelado ainda a uma busca pelo e-mail, recorrente e periódica, podendo ainda estas informações serem alocadas na caixa SPAM torna o monitoramento sujeito a deficiências.

A segunda consiste na Busca Ativa onde o responsável pelos EMAs dos EASs busca informações sobre os dispositivos médicos nos sites das entidades regulatórias e fabricantes. Esta forma se torna inviável pois o tempo dispendido para isso não permitiria que ele realizasse outras atividades.

A terceira seria que o fabricante responsável legal pela notificação de Recalls Alertas e Notificações tivesse controle da localização dos seus produtos comercializados. Para algumas poucas categorias esta forma é aplicada, mas em sua sumula o fabricante não possui controle e conhecimento do destino final dos Dispositivos Médicos comercializados por eles.

Desta maneira destacamos a necessidade de uma plataforma digital capaz de manejar as informações de forma eficaz e eficiente dos dispositivos médicos pós-comercialização.

RESULTADOS

Análise dos dados coletados no Formulário

Foram obtidas 112 respostas, sendo que ao realizar o tratamento dos dados obtivemos 17 inconsistências passiveis de expurgo, totalizando então 95 respostas válidas. O tempo médio para responder o questionário pelos participantes foi de aproximadamente 9 minutos. Os participantes válidos representaram um universo de 122 EASs com uma quantidade aproximada de 206.482 dispositivos médicos representado neste universo.

A participação deste formulário foi por profissionais da área da saúde, gráfico I sendo que 58,95% Engenheiros Biomédicos ou Clínicos.

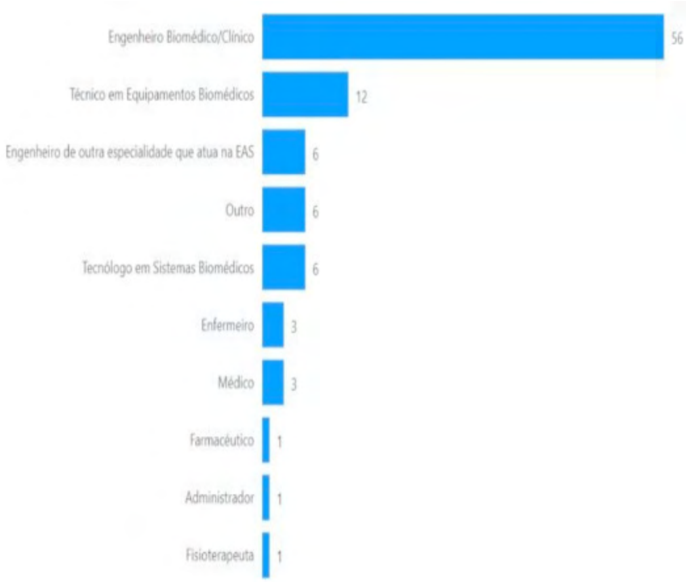


Gráfico I – Qual sua Função/Profissão no EAS?

Houve a participações por todas as regiões do país, como podemos observar no gráfico II sendo os três estados com maior representatividade foram São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro respectivamente, gráfico III.

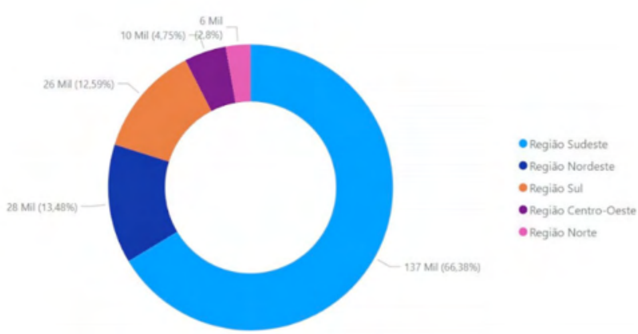


Gráfico II – Distribuição por Região dos EASs

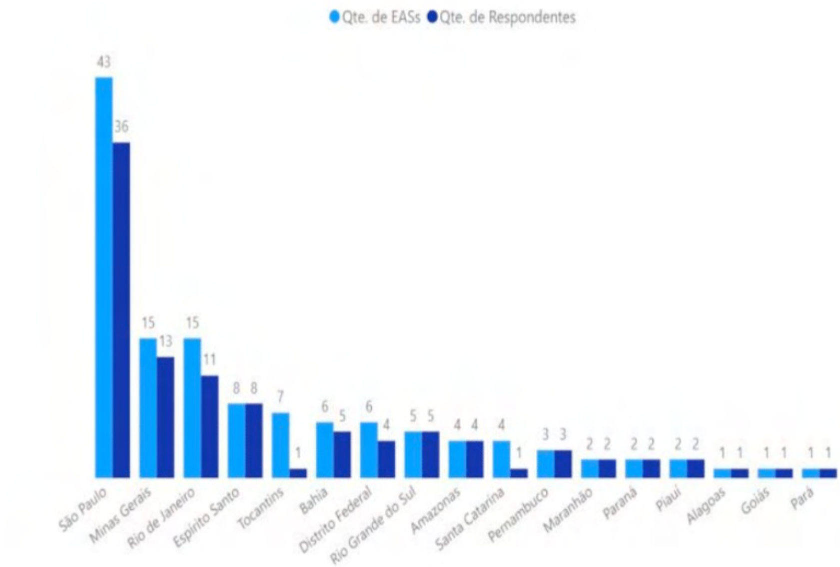
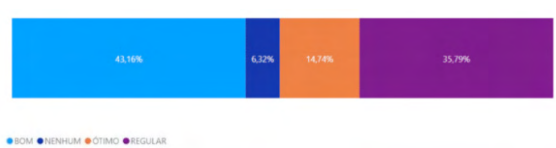


Gráfico III – Qual Estado Federativo encontra seu EAS?

Observamos que os EASs que tiveram maiores representatividade no formulário foi hospitais. Tendo uma distribuição de 34,43% para Hospitais de médio porte, 24,59% para Hospitais de Estra Capacidade e 4,12% para Hospitais de pequeno porte o que totaliza em aproximadamente 63,14%.

Descritivo do Formulário aplicado

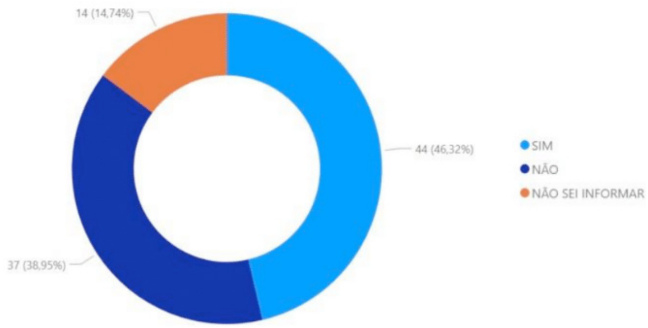
Pergunta 4, “Como considera seu grau de conhecimento sobre *RECALL* ou FSN de Equipamento Médico-Assistencial (EMA) e/ou Medicamentos?”



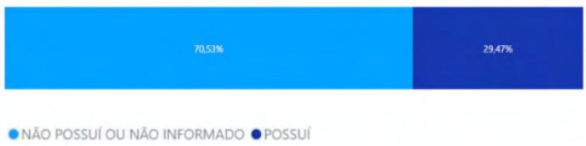
Pergunta 8, “Na sua concepção, quem deve se responsabilizar por notificações de *RECALLs* e FSN?”



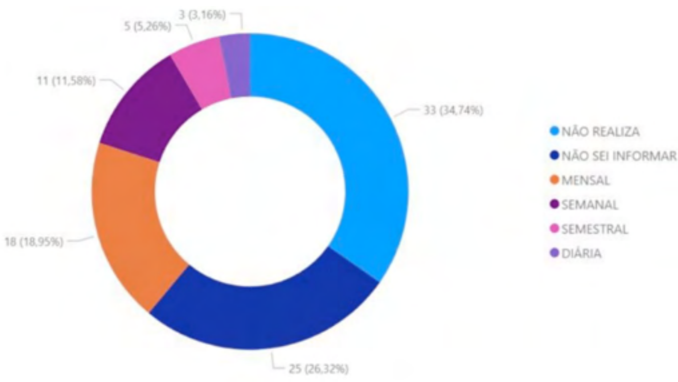
Pergunta 9,” Há algum processo formal no estabelecimento de saúde para buscar, processar e utilizar as informações provenientes de um *RECALL*, ALERTA ou FSN?”



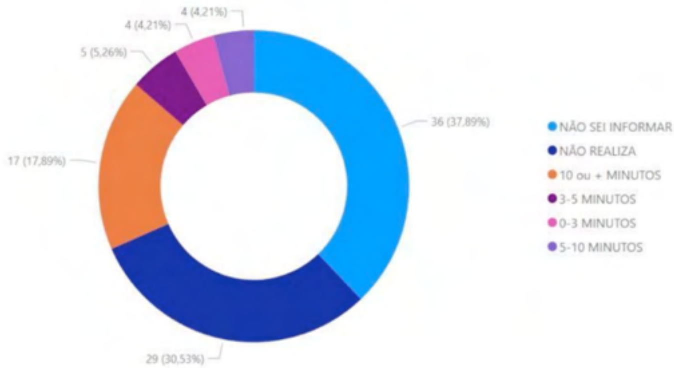
Pergunta 10," O estabelecimento possui algum processo para realizar BUSCA ATIVA DE *RECALL*."



Pergunta 11, "Com que frequência sua organização realiza busca ativa por *RECALL* ou FSN?"



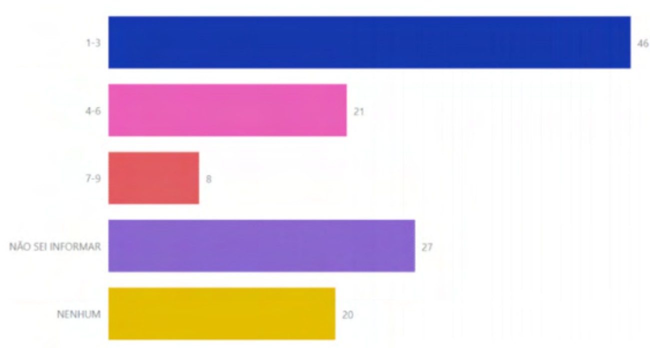
Pergunta 12, "Quanto tempo, em média, a equipe do EAS despende para cada busca ativa de *RECALL* ou FSN de cada EMA e/ou Medicamentos?"



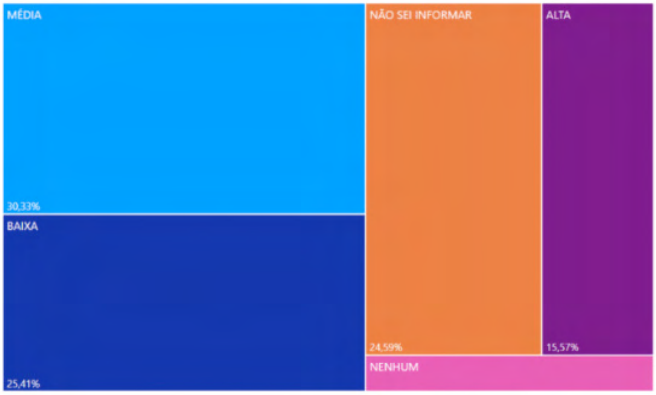
Pergunta 13, “O EAS está inscrito em algum sistema de informação de órgãos oficiais como ANVISA, FDA ou MHRA?”



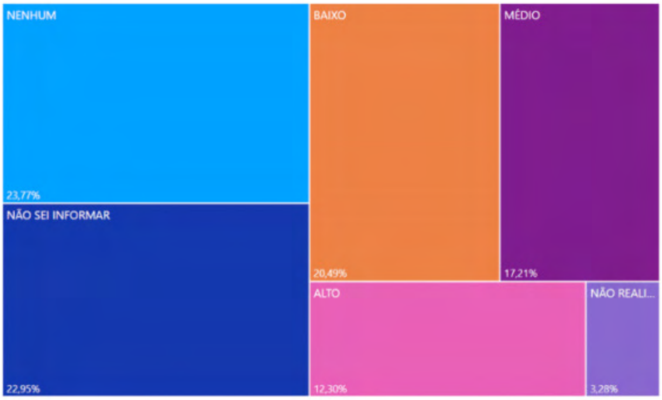
Pergunta 15, “Tem conhecimento se houve, nos últimos 2 anos, alguma notificação de *RECALL*, ALERTAS ou (FSN) relacionado a algum equipamento médico, medicamento ou reagente na sua organização?”



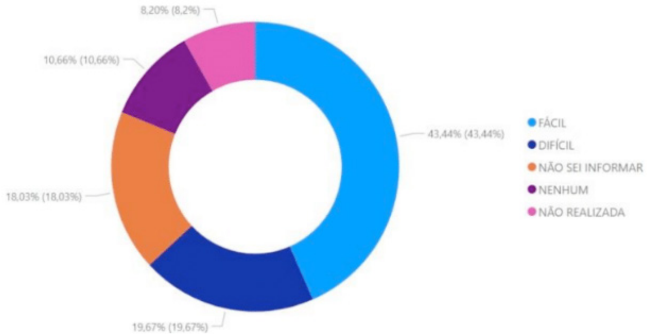
Pergunta 16, “Caso tenha ocorrido alguma notificação no seu hospital, como, na sua concepção, você classificaria a gravidade do chamamento?”



Pergunta 17, “Caso sua organização tenha recebido *RECALL*, ALERTAS ou FSN, qual o grau de dificuldade que o estabelecimento encontrou para implementar as orientações do fabricante?”



Pergunta 18,” Caso sua organização tenha recebido *RECALL*, ALERTAS ou FSN, qual o grau de facilidade de acesso ao Fabricante?”



Pergunta 19, “Na sua opinião, como classificaria a eficiência geral do sistema de comunicação de *RECALL*, ALERTAS e FSN, atualmente empregado pela sua organização?”



1.1.1 Análise dos Dados do Formulário

Observamos, em Análise a figura IV, que somente 9 participantes responderam de forma correta as etapas onde o indivíduo deveria dizer que seu EAS possuí busca Ativa no monitoramento de Recall, alertas e notificações, sendo que a autoavaliação dos participantes sobre o conhecimento do tema foram: 3 ótimos, 4 bons e 2 regulares. A somatória dos EASs representados por eles somaram 15 unidades com um montante de 139.185 do total de EMAs. Isso nos leva a concluir que aproximadamente 32,59% dos EMAs distribuídos em 107 EASs sobre supervisão de 86 participantes apresentam alguma deficiência no monitoramento de Recall, Alertas e Notificações.

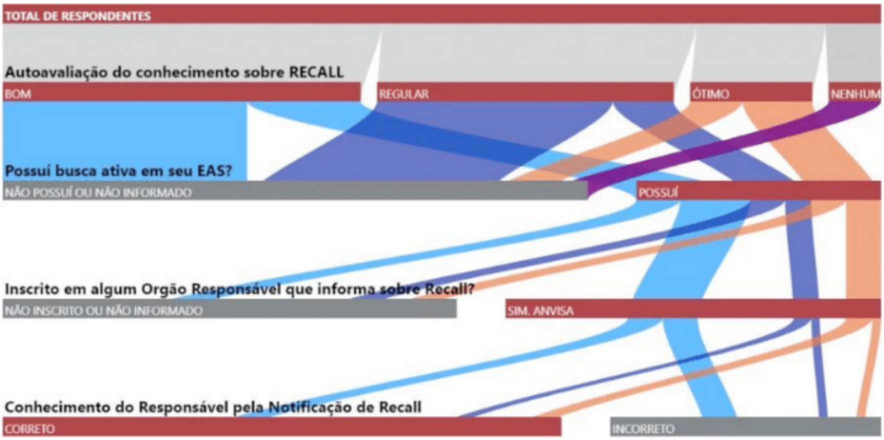


Figura IV – Análise de Eficácia Real do Monitoramento de Recall, Alertas e Notificações.

Ao analisar os influenciadores para Eficácia do monitoramento de Recall, Alertas e Notificações em Dispositivos Médicos nos EASs observamos que quando a frequência de

busca é semanal a probabilidade alta eficácia aumenta para 4,76x em contrapartida quando a frequência é mensal a probabilidade de baixa eficácia aumenta para 1,93x. Quando a frequência é não realizada a probabilidade de ser nenhuma eficácia é de 5,16x maior que as outras opções de frequência. Com isso observamos que o fator de realização do monitoramento de recall, alertas e notificações está diretamente proporcional a frequência de busca o estabelecimento realiza.

Quando analisado os influenciadores "contato com o Fabricante" ser fácil ou nenhum a eficácia do monitoramento tende a uma probabilidade de 3,58x maior comparado as demais opções. Somado a isto, um influenciador de baixa ou nenhuma "dificuldade de orientação do fabricante" demonstra probabilidade de 2,59 x maior de termos uma alta eficácia. Podemos concluir que a comunicação entre o usuário final e o fabricante é de suma importância para manter o sistema de monitoramento eficaz.

Agora ao analisar os influenciadores sobre "função/profissão" dos participantes observamos que os participantes que declararam ser Engenheiro Biomédico/Clínico, 58,95% dos participantes, obtiveram as seguintes probabilidades:

- 1,66x maior que as demais profissões para a realizam de busca ativa em seus EAS.
- 1,77x maior a frequência da busca ativa seja realização mensal.
- 1,59x maior que o tempo médio por busca ativa para cada dispositivo médico ser maior que 10 minutos.
- 1,52x maior que a quantidade de Dispositivos Médicos em seu EAS seja superior a 1500.

Ao Verificar o contexto geral dos resultados obtidos podemos avaliar que os responsáveis que manejam os Dispositivos Médicos nos EASs possuem, na grande maioria, uma falta de clareza dos processos e uma deficiência no conhecimento sobre o tema abordado repercutindo diretamente ao nível de eficácia do monitoramento de Recall, Alertas e Notificações dos EASs.

A importância de uma plataforma digital capaz de atender este setor não só com a ferramenta de monitorização automática e inteligente, mas também a importância de ser gerar informações e esclarecimentos para a população de forma centralizada e de fácil compreensão se faz necessário.

Construção de um MVP com programação em Python

Ao decorrer do projeto foi esclarecido a dinâmica para a realização do monitoramento dos dispositivos médicos, bem como a dificuldade encontrada no âmbito tecnológico para realizar esta atividade dentro dos EASs de forma eficaz pelos profissionais da área.

Ao partir deste contexto, o projeto realizou através de uma programação em Python a busca de notificações de forma automática, simples e eficaz no monitoramento de Recall,

Alertas e Notificações na plataforma da ANVISA onde há a centralização e disponibilidade das informações pertinentes ao tema.

A construção do MVP, seguiu com seguintes etapas para alcançar o objetivo do algoritmo. São elas:

1. Obtenção de dados consistentes e únicos dos dispositivos médicos.

Como observamos no item 4.2 deste relatório a ANVISA disponibiliza de forma atualizada os dados dos registros de Recall, Alertas e Notificações. Como observado no item 1.2.6, os dispositivos médicos passiveis de comercialização e com registro na ANVISA possuem uma numeração única de 11 dígitos que torna a chave para o nosso algoritmo de busca.

2. Fonte de informações de Recall, Alertas e Notificações.

A Tecnovigilância, em 21 de dezembro de 2020, disponibilizou o compartilhamento de informações para os Alertas da seguinte forma:

- Com a possibilidade do acesso de forma cronológica e passível de aplicação de filtros em sua busca ativa com todos os anexos e informações pertinentes acessados pela consulta do Alerta no Portal ("http://antigo.anvisa.gov.br/alertas").
- Com possibilidade de realizar a busca ativa através de um histórico disponibilizado pelo Sistema Nacional de Informações da Educação Profissional e Tecnológica – SISTEC - a partir do dia 02/03/2020, integrou-se com o portal Gov.br ("http://www.anvisa.gov.br/sistec/alerta/consultaralerta.asp")

Este último foi utilizado para a verificação de Recall, Alertas e Notificações através do algoritmo desenvolvido nesta Iniciação Científica por apresentar um acesso simples que diz respeito a abordagem do desenvolvimento. Além disso, encontrou-se pouca dificuldade de autenticação e protocolos HTTP e HTPPs.

3. Processos e procedimentos executados pelo algoritmo.

Foi utilizado a linguagem de programação em Python (.py) para realização deste algoritmo pela familiaridade que o discente possui com a ferramenta e pela capacidade da linguagem de programação de dispender de diversas bibliotecas (conjunto de módulos – são arquivos com instruções e definições em Python) capazes de auxiliar na estruturação e funcionalidade do algoritmo. As bibliotecas utilizadas foram:

- Pandas (https://pandas.pydata.org) - ferramenta de análise e manipulação de dados de código aberto rápida, poderosa, flexível e fácil de usar, construída sobre a linguagem de programação Python .
- Rrequests (https://docs.python-requests.org) – ferramenta que permite enviar solicitações HTTP com extrema facilidade. Não há necessidade de adicionar manualmente strings de consulta a seus URLs ou codificar com forma seus dados POST.
- Grequests (https://pypi.org/project/grequests/) – ferramenta que permite uso Requests com Gevent para fazer solicitações HTTP assíncronas facilmente.

- urllib3 – permite que o *pool* de conexão *Keep-alive* e HTTP seja 100%automático.
- Wget (https://pypi.org/project/wget/) - ferramenta que permite faz download de urls unicode com Python 3 alem de baixar e salvar em alguns formatos.

O ambiente de desenvolvimento foi Visual Studio Code (VS Code) um editor de código-fonte desenvolvido pela Microsoft – figura V, software livre e de código aberto, permitindo ao usuário diversas customizações.

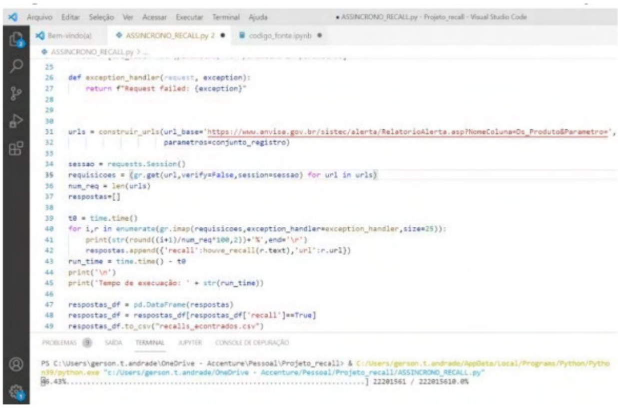


Figura V – Ambiente de Desenvolvimento do Projeto VS code.

Código Confeccionado

```
import pandas as pd
import grequests as gr
import requests
import time
import wget
from requests.sessions import session
from requests.packages.urllib3.exceptions import InsecureRequestWarning
requests.packages.urllib3.disable_warnings(InsecureRequestWarning)
url = 'https://dados.anvisa.gov.br/dados/TA_PRODUTO_SAUDE_SITE.csv'
wget.download(url,'TA_PRODUTO_SAUDE_SITE.csv')
inventario = pd.read_csv('TA_PRODUTO_SAUDE_SITE.csv', sep = ';')

conjunto_registro = set(inventario['NUMERO_REGISTRO_CADASTRO'])
def houve_recall(resposta_anvisa):
   if('Não existem alertas com essas informações!' in resposta_anvisa):
     return False
   else:
```

```
    return True
def construir_urls(url_base,parametros):
  return [url_base + str(parametro) for parametro in parametros]
def exception_handler(request, exception):
    return f"Request failed: {exception}"
urls = construir_urls(url_base='https://www.anvisa.gov.br/sistec/alerta/RelatorioAlerta.a
sp?NomeColuna=Ds_Produto&Parametro=',
                parametros=conjunto_registro)

sessao = requests.Session()
requisicoes = (gr.get(url,verify=False,session=sessao) for url in urls)
num_req = len(urls)
respostas=[]
t0 = time.time()
for i,r in enumerate(gr.imap(requisicoes,exception_handler=exception_handler,size=25)
):
    print(str(round((i+1)/num_req*100,2))+'%',end='\r')
    respostas.append({'recall':houve_recall(r.text),'url':r.url})
run_time = time.time() - t0
print('\n')
print('Tempo de execuação: ' + str(run_time))

respostas_df = pd.DataFrame(respostas)
respostas_df = respostas_df[respostas_df['recall']==True]
respostas_df.to_csv("recalls_econtrados.csv")
```

Ao utilizar esse algoritmo fomos capazes de entrar no site da ANVISA, fazer o download do arquivo atualizado ("TA_PRODUTO_SAUDE_SITE.csv"), totalizando um montante de 93.942 registros de Dispositivos Médicos até 31 de Agoste de 2021.

Posteriormente, recorremos a coluna "NUMERO_REGISTRO_CADASTRO" deste arquivo onde encontra-se o Número do Registro e fizemos uma busca assíncrona com 25 canais independentes de acesso ao servidor SISTEC de forma conjunta.

Resumindo, quando observado que há algum registro na base histórica da Tecnovigilância um novo arquivo nomeado como "recalls_econtrados.csv" armazena as seguintes informações:

- a posição index da localização do número do registro no arquivo original;
- a validação do achado como *TRUEE* do *match* entre TA_PRODUTO_SAUDE_SITE.csv e a base do SISTEC;
- o endereço que o usuário pode localizar as informações pertinentes sobre aquele alerta referente ao Dispositivo Médico.

Foram encontrados, como demonstra a figura VI, 1.735 alertas destes dispositivos médicos registrados.

	A
1	,recall,url
2	11,True,https://www.anvisa.gov.br/sistec/alerta/RelatorioAlerta.asp?NomeColuna=Ds_Produto&Parametro=10407379016
3	58,True,https://www.anvisa.gov.br/sistec/alerta/RelatorioAlerta.asp?NomeColuna=Ds_Produto&Parametro=80495510001
4	213,True,https://www.anvisa.gov.br/sistec/alerta/RelatorioAlerta.asp?NomeColuna=Ds_Produto&Parametro=80753460023
5	236,True,https://www.anvisa.gov.br/sistec/alerta/RelatorioAlerta.asp?NomeColuna=Ds_Produto&Parametro=80753460047
1724	77997,True,https://www.anvisa.gov.br/sistec/alerta/RelatorioAlerta.asp?NomeColuna=Ds_Produto&Parametro=80371250016
1725	78096,True,https://www.anvisa.gov.br/sistec/alerta/RelatorioAlerta.asp?NomeColuna=Ds_Produto&Parametro=80804050023
1726	78109,True,https://www.anvisa.gov.br/sistec/alerta/RelatorioAlerta.asp?NomeColuna=Ds_Produto&Parametro=80804050045
1727	78176,True,https://www.anvisa.gov.br/sistec/alerta/RelatorioAlerta.asp?NomeColuna=Ds_Produto&Parametro=80804050103
1728	78193,True,https://www.anvisa.gov.br/sistec/alerta/RelatorioAlerta.asp?NomeColuna=Ds_Produto&Parametro=80804050121
1729	78202,True,https://www.anvisa.gov.br/sistec/alerta/RelatorioAlerta.asp?NomeColuna=Ds_Produto&Parametro=80804050138
1730	78218,True,https://www.anvisa.gov.br/sistec/alerta/RelatorioAlerta.asp?NomeColuna=Ds_Produto&Parametro=80804050154
1731	78265,True,https://www.anvisa.gov.br/sistec/alerta/RelatorioAlerta.asp?NomeColuna=Ds_Produto&Parametro=80804050202
1732	78314,True,https://www.anvisa.gov.br/sistec/alerta/RelatorioAlerta.asp?NomeColuna=Ds_Produto&Parametro=80804050250
1733	78430,True,https://www.anvisa.gov.br/sistec/alerta/RelatorioAlerta.asp?NomeColuna=Ds_Produto&Parametro=80256170001
1734	78431,True,https://www.anvisa.gov.br/sistec/alerta/RelatorioAlerta.asp?NomeColuna=Ds_Produto&Parametro=80256170002
1735	78536,True,https://www.anvisa.gov.br/sistec/alerta/RelatorioAlerta.asp?NomeColuna=Ds_Produto&Parametro=80312270010
1736	

Figura VI – Imagem do Arquivo “recalls_econtrados.csv”.

O tempo que este algoritmo levou para checar todo o universo registrado na ANVISA foi de aproximadamente de 21,64 minutos como demonstrado na figura VII com as seguintes configurações: uma internet de 300 Mb em fibra óptica; um notebook com memória de 127 SSD; 8G memória RAM e; python versão 3.9.4 de 64-bit.

```
n39/python.exe "c:/Users/gerson.t.andrade/OneDrive - Accenture/Pessoal/Projeto_recall/ASSINCRONO_RECALL.py"
100.0%...................................................................] 22201561 / 222015610.0%

Tempo de execuação: 1298.865222454071
PS C:\Users\gerson.t.andrade\OneDrive - Accenture\Pessoal\Projeto_recall>
9.4 64-bit  ⊗ 2 ⚠ 7    Interrupting Jupyter Kernel
```

Figura VII – Tempo de processamento do Algoritmo no Universo Total de Registro de Dispositivos Médicos na ANVISA no servidor da SISTEC em busca de alertas gerados pela Tecnovigilância.

Sabemos que um EAS possui somente uma fração dos Dispositivos Médicos registrados na ANVISA e que no Brasil o único padrão que possibilita o rastreio dos Dispositivos Médicos de forma unificada e eficiente é o Número de Registro que já vem disponibilizado para o usuário na realização da compra.

CONCLUSÃO

O setor de saúde possui muitas organizações têm desenvolvido especificações e normas para apoiar a informática em saúde, troca de informações, integração de sistemas e um amplo espectro de aplicativos de assistência médica.

Devido à sensibilidade das informações nos sistemas de saúde, uma enorme coleção de termos e conceitos para alcançar a interoperabilidade entre sistemas de saúde que consiste no grande desafio na maioria dos domínios. Além disso, o crescente custo dos cuidados de saúde tem sido a força motriz para colocar muitos esforços neste domínio para definir processos de padronização.

As pesquisas bibliográficas indicaram importantes questões acerca do desenvolvimento de ecossistema resiliente visando a visibilidade clara das informações sobre recall dos produtos, insumos e serviços em saúde que podem afetar os negócios e o comportamento da comunidade no tocante a diminuição dos riscos.

Observou-se a disponibilidade de grande volume de dados brutos disponíveis acerca de recall de diversos Produtos para a Saúde nos órgãos competentes o que torna viável a proposta da plataforma em questão e com foco inicial somente nos dados obtidos pela ANVISA poderíamos realizar tal plataforma. Pois, estes dados são de fácil acesso por meio de algoritmos de varredura e transformação de dados no apoio a tomada de decisões junto a diversos setores na gestão de riscos em saúde.

A disponibilidade de informações via plataforma acessível à comunidade em tempo real permitirá agilidade, flexibilidade e inovação para o setor da saúde que consiste no propósito maior deste projeto.

Pois, no domínio da saúde, a maioria das integrações em projetos pretendem usar padrões de assistência médica para obter interoperabilidade.

Na busca do entendimento junto a profissionais da área será por meio do questionário a foi aplicado resultou identificação real da necessidade e viabilidade da plataforma de Gestão de Riscos em Produtos para a Saúde.

Parte maior desse processo requer a compreensão do sistema legado de dados e serviços e para quais serviços e termos podem ser mapeados. Isso abre uma nova avenida para os pesquisadores na comunidade de engenharia reversa para desenvolver os processos e fluxos de trabalho para lidar com os problemas da migração para novas plataformas e reengenharia de sistemas legados no contexto de conceitos e operações padrão.

Portanto, qualquer nova tentativa de interoperabilidade entre serviços de saúde legados sistemas devem estar em conformidade com os padrões para garantir sua compatibilidade e as manutenção e evolução no futuro.

REFERÊNCIAS

ANVISA. DIRETRIZES NACIONAIS PARA A VIGILÂNCIA DE EVENTOS ADVERSOS E QUEIXAS TÉCNICAS DE PRODUTOS SOB VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Disponível em: http://migre.me/9POaX HYPERLINK "http://migre.me/9POaX%20&%20RDC%2067/2009"& HYPERLINK "http://migre.me/9POaX%20&%20RDC%2067/2009" RDC 67/2009. Acesso em: 20 de novembro de 2020.

BATRA, N., BETTS D., DAVIS, S., Forces of change: The future of health, Deloitte Consulting LLP, 2020

BAXTER, M. R. Projeto de Produto: Guia Prático para o Design de Novos Produtos. 2. Ed. São Paulo: Editora Blücher, 2005.

GIL, A. C. Métodos e Técnicas de Pesquisa Social. São Paulo: Atlas, 2008

BRASIL. Ministério da Saúde (MS).

WAJID, Usman, TRYAND, James, Digital Platform Development Lifecycle, ICE, 2019 disponível em: https://www.efactory-project.eu/post/digital-platform-development- lifecycle

WAMBA, S. F., NGAI, E. W. T. Internet of Things in healthcare: the case of RFID- enabled asset management. International Journal of Biomedical Engineering and Technology, v. 11, n. 3, p. 318–335, 2013.

World Health Organization. WHO Global Model Regulatory Framework for Medical Devices including in vitro diagnostic medical devices. WHO Medical device technical series. 2017. 1-68 p.

CAPÍTULO 24

CARACTERIZAÇÃO DO DESIGN COMO FACILITADOR DA INOVAÇÃO RADICAL

Data de aceite: 01/03/2022

Ruth Matovelle Villamar
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador
orcid/0000-0001-8909-8988

Manuel Lecuona Lopez
Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España
orcid/0000-0002-9642-9738

Adriana Gonzalez Hernández
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador

RESUMEN: Se ha evidenciado que la innovación es el único camino que tiene la empresa para crecer, ser rentable y no desaparecer. Por ello se hace inminente que las empresas y los profesionales deban especializarse en formular y gestionar proyectos innovadores. En este contexto, el objetivo del artículo es identificar la caracterización del diseño en la generación de innovación radical, para ello se optó por una investigación exploratoria y descriptiva, bajo una mirada pragmática que combina herramientas cualitativas y cuantitativas. El análisis bibliométrico realizado en las bases scopus y web of science, permitió identificar 5 teorías que promueven al diseño como gestor de innovación radical, estas fueron el resultado de extensos periodos de investigación, donde se analizaron más de 100 casos de empresas italianas con productos innovadores. También se consultó a 15 expertos en el tema de diseño e innovación, que han desarrollado innovaciones radicales en empresas. Su análisis, permitió identificar que la innovación es el resultado de un sistema amplio y complejo, por ello para la consecución de una innovación radical no basta solo con la participación del diseño, es necesario tener un ecosistema de innovación con varios componentes que harán posible esta conformación.

PALABRAS CLAVE: Diseño, innovación radical, sistémico.

CHARACTERIZATION OF DESIGN AS A FACILITATOR OF RADICAL INNOVATION

ABSTRACT: It has been shown that innovation is the only way for the company to grow, be profitable and not disappear. For this reason, it is imminent that companies and professionals must specialize in formulating and managing innovative projects. In this context, the objective of the article is to identify the characterization of design in the generation of radical innovation, for which an exploratory and descriptive research was chosen, under a pragmatic view that combines qualitative and quantitative tools. The bibliometric analysis carried out in the scopus and web of science databases allowed the identification of 5 theories that promote design as a manager of radical innovation, these were the result of extensive periods of research, where more than 100 cases of Italian companies with innovative products were analyzed. . 15 experts on the subject of design and innovation, who have developed radical innovations in companies, were also consulted. Its analysis allowed us to identify that innovation is the result of a broad and

complex system, therefore, to achieve radical innovation, it is not enough just to participate in design, it is necessary to have an innovation ecosystem with several components that will make this possible.

KEYWORDS: Design, radical innovation, systemic.

1 | INTRODUCCIÓN

Las innovaciones radicales, se dirigen generalmente a nuevos mercados objetivo y clientes, por lo que, requieren nuevos conocimientos técnicos, líneas de productos y procesos de producción, mientras que los proyectos incrementales a menudo podían basarse en la tecnología existente. En general, los proyectos radicales requieren más competencias, que difieren de las competencias y destrezas disponibles de los empleados. El desarrollo de nuevos productos radicales puede crear desafíos únicos para una empresa, ya que las competencias y experiencias previas pueden ser inadecuadas. (Song & Montoya-Weiss, 1998). Hay que tener la habilidad para vincular las tecnologías avanzadas con las oportunidades del futuro, lo que conlleva los esfuerzos tanto de los individuos que forman parte del proceso de innovación como de la propia organización (Reid, Brentani, & Kleinschmidt, 2014). Bajo este contexto, se enlaza la disciplina de diseño, como un factor clave en las etapas iniciales del proceso de innovación, focalizando su actuar en la búsqueda de nuevos significados, nuevos estereotipos o en estudios prospectivos.

2 | LA EVOLUCIÓN DE LA DISCIPLINA DEL DISEÑO

Históricamente la disciplina del Diseño en conjunto con sus especialidades, se ha visto identificado por varios autores, "como las formas o ideas para convertirse en proposiciones prácticas y atractivas para los usuarios o clientes, diseño se puede describir como la creatividad desplegada para un fin específico'' (Cox, 2005, pág. 2). Pero, ahora bien, desde el 2008 se habla de una transición en la práctica del diseño, pues ha pasado de ser un mero componente estilístico y estético a ser un modo de mejorar los productos, servicios, procesos de innovación y eficiencias operativas, es decir hacia el campo estratégico. Por ello, hoy en día la mayoría de las investigaciones de diseño se enfocan en este nivel, aquí se evidencia en mayor medida la contribución del diseño al proceso de innovación, tal como lo menciona Lecuona, el diseño ha evolucionado a través del tiempo hasta el punto de que actualmente puede adentrarse más allá del proyecto, la conformación de objetos y las comunicaciones visuales, hasta llegar al planteamiento de estrategias innovadoras que apoyen el desarrollo de empresas e instituciones (Lecuona, 2010). Es en el nivel estratégico donde diseño contribuye a la innovación por su capacidad para imaginar guiones para el futuro, aunque también por su capacidad para acompañar y suscitar cambios acordes con la evolución ambiental (Borja De Mozota, 2006; Deserti, 2014; Di Bartolo ,2014). La tabla 1 recopila las características evidenciadas por varios

autores, sobre el nuevo rol estratégico del diseño.

Característica	Referencia
Gestiona la complejidad	Akin, 2001; Thakara, 2006; Tesler y Saffer, 2007; Norman, 2011; Cross, 2011; Tannen, 2012
Metaproyectual	Cooper y Klenschmidt, 1986; Smith y Reinertsen, 1991; Koen, 2002; Reid y Brentani, 2004; Sanders y Stappers, 2008; Brown, 2009; Celi, 2010; DeMull, 2011
Multidimencional	Norman y Draper, 1983; Buchanan, 2008; Sanders y Stappers, 2008
Proyectista, imagina guiones para el futuro	Holt ,1990; Heskett (2002); Borja de Mozota(2003), Celi,2010; Celaschi,2010; Lecuona, 2007
Estratégico	Bartola & Manzini,2006; Meroni,2008 y Zurlo, 2012.
Trabaja en contexto	Best, 2016; Zurlo & Cautela,2014;
Colaborativo	Zurlo & Cautela,2014; Brown,2008;
Abierto a nuevas ideas.	Rampino,2011
Pensamiento holístico	Borza De Mozota, 2006
Fluctúa eficientemente del pensamiento divergente al convergente	Zurlo & Cautela,2014
Conceptualiza ideas a través de dibujos o modelos a escala	Carrió,2006; Bonsiepe,2012;
Formula nuevos estereotipos	Zurlo & Cautela,2014; Rampino,2011
Anticipa e influye sobre nuevos significados de producto	Rampino, 2011; Dell'Era, Marchesi, & Verganti, 2010
Aplica empatía al contexto del problema.	Zurlo, Cagliano, Simonelli, & Verganti, 2002; Rampino,2011
Re interpretativo de la realidad	Verganti (2009)
Gestiona las divergencias	Rampino,2011
Identifica nuevas necesidades semánticas, no expresadas de los usuarios.	Verganti (2009); Dell'Era, Marchesi, & Verganti, 2010

Tabla 1. Características del diseño.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Iñiguez & León (2016).

Varios autores coinciden en afirmar que el diseño deber ser meta proyectual y multidimensional, como características potenciales del diseño estratégico. Este resumen tomo las características identificadas por Iñiguez & León (2016) en su tesis doctoral, donde fue el resultado de un arduo trabajo de campo en el norte de Milán, para le permitiera identificar las principales características del diseño a nivel estratégico. Adicionalmente fueron agregadas características identificadas en los últimos años, por diferentes autores.

3 I LA INNOVACIÓN RADICAL

Las innovaciones radicales, son transformaciones importantes de productos y servicios existentes, requieren de un enfoque disciplinado para identificar y ejecutar rigurosamente las mejores ideas, que implican cambios al interior y exterior de la organización (Chandy & Tellis, 2000; Jones & Samalionis, 2008). La capacidad de desarrollar y comercializar con éxito innovaciones radicales se constituye en una "capacidad dinámica", difícil de imitar. Estas capacidades dinámicas permiten a los gerentes adaptar, integrar y desplegar habilidades organizacionales internas y externas, para lograr la alineación con el entorno empresarial cambiante (Slater, Mohr, & Sengupta, 2014). Una percepción común en el campo de la innovación es que estas capacidades dinámicas de las empresas, deja por fuera a las grandes empresas, las cuales rara vez introducen innovaciones radicales de productos, por su inercia y burocracia. Como resultado, las innovaciones radicales tienden a provenir de pequeñas empresas, tesis identificada como la "maldición del titular", la que es comúnmente aceptada en los relatos académicos y populares de la innovación radical, donde se evidencian la caída de grandes empresas mientras se catapulta las pequeñas empresas en el liderazgo del mercado (Damanpour, 1991; Rothwell,1994; Chandy & Tellis,2000; Leifer y otros,2000; Tether, 2005).

4 I EL DISEÑO Y SU CONEXIÓN CON LA INNOVACIÓN

Desde la óptica disciplinar del diseño, se ha generalizado que este es un instrumento de innovación no tecnológica. El diseño se refleja de manera global en la innovación. Su modo de pensamiento holístico es útil para la liberalización entre las funciones y las culturas, transforma la materia prima en productos que la gente puede usar realmente, o inclusive anticiparse a las necesidades futuras de un mercado; constituyéndose así, en una valiosa aportación a la innovación radical. (Borja de Mozota,2006; Cotec, 2009; Cruickshank, 2010; Hobday, Boddington y Grantham, 2011; Norman y Verganti, 2014;).

Los autores, tal como Cox, 2005; Cruickshank,2010; Poynor,2008; Moultrie & Livesey,2009; Lecuona,2007;Tether,2005; Borja de Mozota,2006; Acklin, 2010; Carrió,2006; Bartola & Manzini,2006; Meroni,2008; Zurlo,2012; Rampino, 2011; y Bonsiepe,2012 entre otros, puntualizan la aportación que hace el diseño a la innovación incremental, donde el diseño cumple un rol operativo, centrado en la definición de los usos, funciones o formas de los productos, relevantes en las etapas maduras del proceso de innovación.

Con respecto a la relación diseño e innovación radical, las teorías halladas, corresponden a los autores Verganti, Dell´era, Norman, Rampino y Zurlo & Cautela. Estas teorías son el resultado de extensos periodos de investigación, respaldados principalmente por instituciones gubernamentales e instituciones educativas, la tabla 2 resume esta información. El mayor exponente es Roberto Verganti, autor de varias publicaciones, libros y conferencias, en estas se discuten y solventan las ideas sobre la innovación radical, su

significado e implicancia en el área del diseño y la sociedad.

Autor	**Verganti**	**Dell`era, Marchesi y Verganti**	**Rampino**	**Zurlo & Cautela**
Año	2008	2010	2011	2014
Descripción de la teoría	Mmetamodelo que demuestra que la innovación radical puede ser impulsado por cambios en el significado del producto , es decir un design push; conocida como "design driven innovation".	Se evidencia que las empresas combinan varias técnicas en la generación radical, es decir existe una interacción entre technology push y design push.	Por medio de una pirámide de innovación, evidencia que el diseño es capaz de generar innovación radical, en estrecha relación con la presencia de la variable tecnológica	Identifica las narrativas empresariales dadas sobre dos dimensiones: tecnológica y mercado, evidencia la generación de innovación radical en la narrativa exploratoria.
Pruebas empíricas	74 casos de empresas con innovaciones exitosas de productos(italianas)	2 casos de empresas : Kartell y Luceplan (italianas)	Analizaron 40 productos considerados innovadores en su diseño industrial.	No especifica número de casos
Nivel de actuación	Estratégico	Estratégico	Estratégico	Estratégico/ Modelo de innovación de la empresa.
Las fuentes creativas	Del análisis de entornos socio-culturales. De las necesidades de los consumidores , exploración de nuevas tecnologías.	Del análisis de la dimensión funcional y dimensión semántica del producto.	Estudio de mercado	La perspectiva del sistema de Stakeholder
Las herra-mientas del diseño	Modelos socioculturales, significados y lenguajes de producto, además de métodos y herramientas de análisis.	Herramientas comunicacionales en la que se generan lenguajes y mensajes, que crean un significado para la sociedad por medio de signos.	Análisis de entornos culturales	Mapa del sistema y los Modelos de negocio

Tabla 2. Teorías sobre diseño e innovación radical.

Fuente: Elaboración propia.

Su análisis, permitió determinar una serie de variables o componentes de la temática. Es de destacar que todos los autores coinciden en identificar que la innovación es el resultado de un sistema amplio y complejo, por ello para la consecución de una innovación radical no basta solo con la participación del diseño, es necesario tener un ecosistema de innovación compuesto de varios componentes que harán posible esta conformación. Las innovaciones radicales de productos enfrentan un proceso de desarrollo intrínsecamente más incierto, un proceso de adopción de clientes más complejo y, por extensión, un proceso de comercialización más difícil (Leifer et al., 2002). Por ello las empresas que desean desarrollar innovaciones radicales debe entender la configuración de los componentes que

permiten desarrollar la capacidad de innovación radical de productos, tales como: factores o detonantes de la innovación, el nivel de actuación del diseño y de acuerdo con este sus características de actuación, los términos que lo define, el rol del diseñador y sus habilidades, lo que nos da luce con respecto a su caracterización.

5 I CARACTERIZACIÓN DEL DISEÑO COMO FACILITADOR DE INNOVACIÓN RADICAL

Puntualizando las variables identificadas por las 4 teorías, junto con la aportación de los expertos consultados sobre la aportación del diseño en proyectos de innovación radical en empresas, coinciden mayoritariamente en identificar tres factores esenciales: la gestión innovadora de la empresa, el nivel de actuación del diseño y las habilidades del diseñador.

5.1 La gestión innovadora de la empresa

La generación de innovación radical, exige de la empresa un sistema de gestión focalizado específicamente para su ejecución. Y si se pretende que este sistema de gestión contemple el accionar del diseño, resulta necesario puntualizar los siguientes elementos, que aseguren el alcanzar la tan ansiada meta, innovar (Correa, Yepes, & Pellicer, 2007; Rosa del Águila & Padilla ,2010; Slater, Mohr, & Sengupta, 2014):

- El compromiso de la Gerencia y su predisposición de romper paradigmas
- La gerencia debe tener la cultura hacia el uso del diseño en el nivel estratégico
- Tener un plan o estrategia de innovación a corto y mediano plazo
- Comunicar la existencia de políticas y objetivos de innovación
- Fomentar la cultura de innovación para generar crecimiento en la empresa
- Fijar un modelo de gestión de la innovación.
- Disponer de recursos para gestionar y ejecutar las actividades de innovación
- Gestionar la cartera de proyectos, para alinearlos con la innovación.
- Estimular la libertad de ideas.
- Fijar indicadores de innovación para evaluar el ROI de la innovación.
- Conformar un equipo de trabajo multidisciplinario, donde el diseñador tenga un rol representativo.
- Libertad de acción de los miembros del equipo, marcado por múltiples discontinuidades que deben ser puenteadas en el transcurso del proceso.

5.2 Nivel de actuación del diseño

Para que el diseño sea un facilitador de innovación radical, es necesario identificar primero el nivel de uso que la empresa hace del diseño, para ello existe una metodología

desarrollada por el centro de diseño danés, conocida como “Design Ladder “, la que tiene un alto grado de reconocimiento en la comunidad del diseño, y ha sido incorporado en varias encuestas de innovación donde se pretende medir el rol del diseño, ver figura 1.

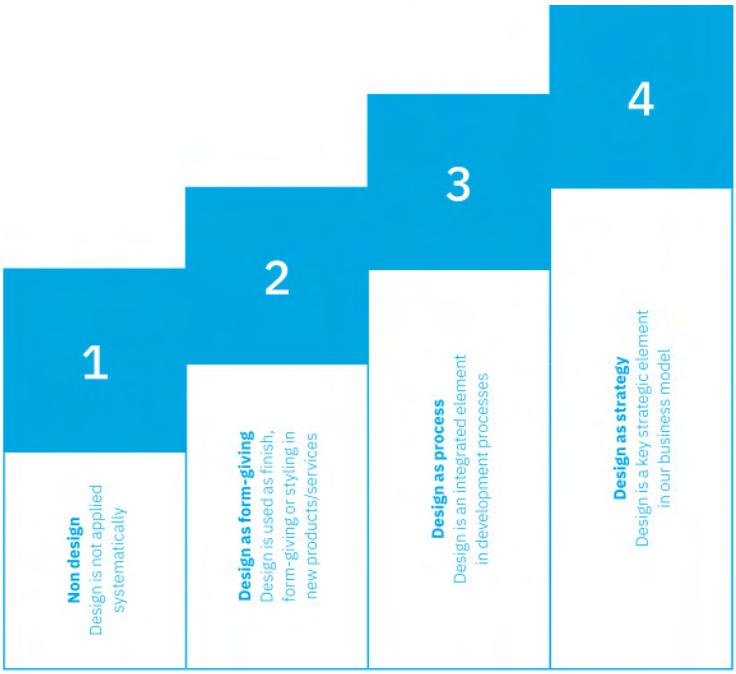


Figura 1. La escalera DM.

Fuente: ADCV, 2018.

El modelo utiliza cuatro escalones, sitúa en el primer escalón a las empresas que no lo utilizan y en el más alto aquellas que lo utilizan como herramienta de innovación; en los escalones intermedios estarían aquellos que lo utilizan como Styling (estilismo) y las que lo entienden como un proceso. A medida que las empresas van subiendo por la escalera, perfeccionan su conocimiento del diseño y mejorando el uso de este para sus finalidades corporativas (Córdova,2016; ADCV,2018).

Los autores mencionan que el nivel 4, correspondiente al estratégico, es el apropiado para que el diseño impulse la innovación, esto quiere decir en el sentido práctico corresponde al hecho de que la empresa defina en conjunto con el diseñador las estrategias corporativas innovadoras.

5.3 Habilidades del Diseñador

Los resultados de investigaciones empíricas han evidenciado que el acercamiento entre la empresa y los proyectos innovadores le confiere al diseño un valor estratégico, lo que detona el desarrollo de nuevas habilidades y roles del diseño para con el proceso

de innovación (Noble, 2011). Por ello, es de suma importancia la identificación de las habilidades de los diseñadores en el proceso de innovación radical, que se evidenciaron en los casos analizados por los autores Verganti, Dell´era, Norman, Rampino y Zurlo & Cautela. Es así, que para su explicación se hará referencia a los casos en particular, para así proporcionar al lector un detalle completo de la habilidad.

Identificar nuevos estereotipos

La autora evidencia en su pirámide de innovación, que el diseño es capaz de generar innovación radical, lo ubica en el punto más alto de la pirámide, relacionado con la presencia de la variable tecnológica (ver figura 2). Este cuadrante lo llama innovación tipológica, y se refiriere cuando un producto se desvía desde su estereotipo formal. Menciona que a través del tiempo las formas de los objetos han evolucionado debido a las nuevas oportunidades tecnológicas, cambios culturales, lo que conlleva a la creación de nuevos estereotipos. Es aquí donde nace una oportunidad para el diseñador, pues este basado en la nueva funcionalidad del producto (Rampino, 2011).

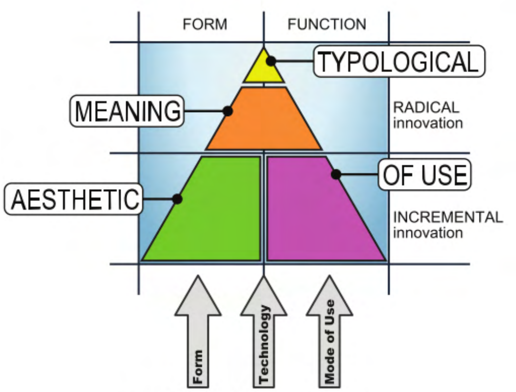


Figure 10. The innovation pyramid.

Figura 2. Pirámide de Innovación.

Fuente: Rampino (2011).

Para Roberto Verganti , el diseño se ocupa de los significados que las personas dan a los productos y como los mensajes se pueden idear para transmitir ese significado. Se menciona que la innovación puede referirse a la utilidad funcional de un producto, su significado, o ambos y que pueden implicar una mejora radical o incremental. En particular, la innovación de significado es incremental cuando un producto adopta un lenguaje de diseño y entrega un mensaje que está en línea con la evolución actual de los modelos socioculturales. Los usuarios probablemente percibirían este producto como ‘’ fashionable ‘’ y tal vez con estilo, ya que se ajusta a definiciones existentes de la belleza (es decir, con

un estilo que se basa en idiomas aceptados). Sin embargo, esta también puede ser radical (Verganti, 2008).

El modelo se ve en la figura 3, esta muestra las dimensiones de la innovación (funcionalidad y significado), conectado a tres detonantes de innovación: techonology push, market pull y design push.

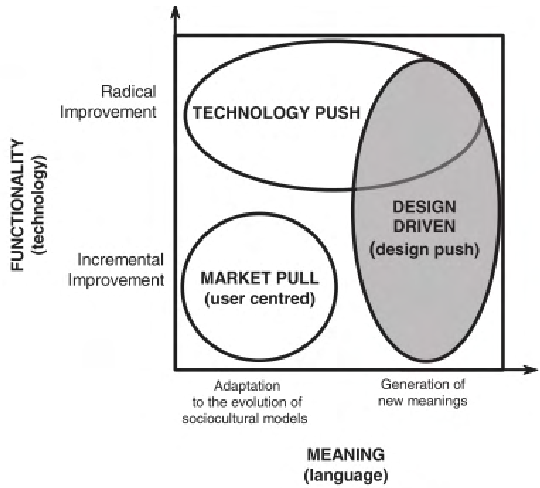


Figura 3. Estrategias de innovación.

Fuente: verganti, 2008.

Design push, donde la innovación se inicia a partir de la comprensión de la dinámica sutiles y tácitas en los modelos socioculturales y como resultado de proponer radicalmente nuevos significados y lenguajes que a menudo implican un cambio en los regímenes socioculturales.

Market pull, donde la innovación empieza a partir del análisis de las necesidades del usuario y, posteriormente, busca las tecnologías y lenguajes que realmente ellos pueden satisfacer. La innovación centrada en el usuario se incluye aquí como una declinación del market pull, ya que ambos parten de los usuarios para identificar directa o indirectamente las instrucciones para la innovación. Aunque el enfoque centrado en el usuario es más avanzado y sofisticado, ya que sus metodologías permiten comprender mejor por qué y cómo las personas dan sentido a las cosas existentes, que pueden conducir a los conceptos más innovadores en comparación con los procesos tradicionales de market-pull.

Techonology push, que es el resultado de la dinámica de la investigación tecnológica. La coincidencia entre Techonology push y Design push, en la esquina superior izquierda de la Figura 25 resalta que los cambios tecnológicos se asocian a menudo con cambios radicales en el significado de los productos, en otras palabras, los cambios en los paradigmas tecnológicos son a menudo acompañadas de cambios en los regímenes

socioculturales y, viceversa, las innovaciones radicales de significados son a menudo impulsados por la disponibilidad o la exploración de nuevas tecnologías.

Design driven innovation, se describe como la capacidad de crear innovaciones radicales de significados, basado en un proceso de investigación en red, que dependen de intérpretes en el discurso del diseño, incluidos los usuarios principales, por supuesto, pero también, y sobre todas las firmas de otras industrias, artistas, medios de comunicación, arquitectos, centros culturales, diseñadores, escuelas y universidades, y exposiciones, ver figura 4.

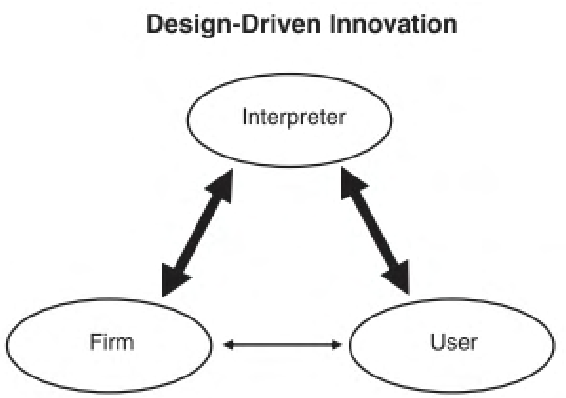


Figura 4. Design driven innovación.

Fuente: verganti, 2008.

- Se trata de un proceso de una investigación en red.
- Se extiende ampliamente fuera de los límites de la firma, incluidos los usuarios, sino también y sobre todo otros intérpretes.
- Se basa en el intercambio de conocimientos (modelos culturales, significados y lenguajes de producto).
- Incluye una acción de influir y modificador, el régimen sociocultural.

Visión Sistémica

El autor identifica las narrativas empresariales dadas sobre dos dimensiones: tecnológica y mercado, se evidencia la generación de innovación radical en la que existe plena participación del diseño. Lo llama “narrativa de exploración”, ubicada en el cuadrante superior derecho (ver figura 5). El menciona que las empresas están abiertas, no sólo para el desarrollo de nuevas soluciones o aplicaciones tecnológicas, sino también a los cambios de los componentes del modelo de negocio existente o crear un nuevo ecosistema de negocios. Para apoyar este proceso, el diseñador debe tener una visión sistémica y la

capacidad de actuar como mediador entre los diferentes intereses que caracterizan a los actores del ecosistema. Por ello, deberá contar con herramientas avanzadas, que le permita representar el sistema, la relación entre los actores, los flujos tangibles e intangibles, y el sistema de valores de una manera sintética, llegando en muchos casos a elaborar prototipos (Zurlo & Cautela, 2014).

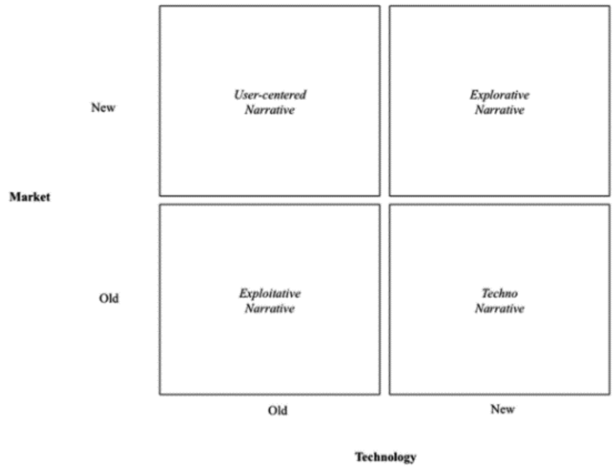


Figura 5. Narrativas empresariales.

Fuente: Zurlo & Cautela (2014).

Finalmente, si una empresa se plantea convertir la innovación en un mecanismo de crecimiento y creación de ventajas competitivas, será preciso que incorpore a la disciplina del diseño, en el campo estratégico y visualizar la complejidad del proceso, la que debe ser analizada y manejada por un equipo de profesionales de diferentes disciplinas, sin olvidar de considerar el rol del diseñador en este accionar.

REFERENCIAS

ADCV. (2018). La economía del diseño en la comunidad Valenciana (Asociación).

Borja De Mozota, B. (2006). El diseño de la innovación, dos retos para la profesión del diseño. Innovación y Diseño, 23, 132–146.

Carrió, M. (2006). Espacios comunes del diseño y la innovación. Innovacion y Diseño, 23, 147–155.

Chandy, R. K., & Tellis, G. J. (2000). The Incumbent's Curse? Incumbency, Size, and Radical Product Innovation. Journal of Marketing, 64, 1–17.

COTEC. (2009). Productividad, competitividad e innovación en España. Comparación internacional por sectores. Madrid: Fundación Cotec.

Cox, J. (2005). Cox review of creativity in business: Building on the UK's strengths. Londres: HM Treasury.

Cruickshank, L. (2010). The Innovation Dimension: Designing in a Broader Context. Design Issues, 26(2), 17–26.

Damanpour, F. (1991). Organizational innovation: A meta-analysis of effects of determinants and moderators. Academy of Management Journal, 550-590.

Dell'Era, C., & Verganti, R. (2007). Strategies of innovation and imitation of product languages. Journal of Product Innovation Management V24 No6, 580-599

Deserti, A., & Rizzo, F. (2014). Design and the Cultures. DesignIssues V30 No.1, 36-56

Hobday, M., Boddington, A., & Grantham, A. (2012). Policies for design and policies for innovation: Contrasting perspectives and remaining challenges. Technovation, 32(5), 272–281.

Iñiguez Flores, R., & Leon Moran, R. (2016). Advanced design as a systemic practice for innovation on territory:Creative Digital City case, Guadalajara, Mexico. 6 IFDP- Systems & Design :beyond Process and Thinking, (págs. 288-301). Valencia.

Jones, M., & Samalionis, F. (2008). From Small Ideas to Radical Service Innovation. DesignManagement Review Winter, 20–26

Leifer, R., McDermott, C., Colarelli, G., Peters, L., Rice, M., & Veryzer, R. (2000). Radical Innovation: How Mature Companies Can Outsmart Upstarts. new York: Rensselaer Polytechnic Institute.

Lecuona, M. (2010). Diseño Estratégico, guía metodológica. Asturias: Fundación Prodintec.

Norman, D., & Verganti, R. (2014). Incremental and radical Innovation: Design rearch vs technology and Meaning Change. DesignIssues V30 No.1, 79-96

Noble, C. (2011). On Elevating Strategic Design Research. J PROD INNOV MANAG, 389–393.

Rampino, L. (2011). The Innovation Pyramid: A Categorization of the Innovation Phenomenon in the product-design field. International Journal of Design V5 No.1, 4-16.

Reid, S. E., Brentani, U. De, & Kleinschmidt, E. J. (2014). Industrial Marketing Management Divergent thinking and market visioning competence : An early front-end radical innovation success.

Rothwell, R. (1994). Towards the Fifth-generation Innovation Process. International Marketing Review (Vol. 11).

Slater, S. F., Mohr, J. J., & Sengupta, S. (2014). Radical product innovation capability: Literature review, synthesis, and illustrative research propositions. Journal of Product Innovation Management, 31(3), 552–566. http://doi.org/10.1111/jpim.12113.

Song, X. M., & Montoya-Weiss, M. M. (1998). Critical Development Activities for Really New versus Incremental Products. Journal of Product Innovation Management. http://doi.org/10.1111/1540-5885.1520124Tether, B. (2005). The Role of Design in Business Performance. Design, 1–26. Retrieved from http://www.bis.gov.uk/files/file14796.pdf

Tether, B. (2005). The Role of Design in Business Performance. Design, 1–26. Retrieved from http://www.bis.gov.uk/files/file14796.pdf

Verganti, R. (2009). Design Driven Innovation: Changing the Rules of Competition by Radically Innovating What Things Mean. Boston: Harvard Business School Press.

Zurlo, F., & Cautela, C. (2014). Design Strategies in Different. DesignIssues V30 No.1, 19-35.

CAPÍTULO 25

BANDEIRA TÊXTIL DA TECIDOTECA: ANÁLISE POR DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E ALONGAMENTO DO TECIDO JEANSWEAR

Data de aceite: 01/03/2022

Ronaldo Salvador Vasques
Universidade Estadual de Maringá - CRC
Cianorte - Paraná
http://lattes.cnpq.br/7159248225674871

Fabrício de Souza Fortunato
Universidade Estadual de Maringá
Cianorte-Paraná
http://lattes.cnpq.br/6707435689950700

Márcia Regina Paiva de Brito
Universidade Estadual de Maringá
Maringá-Paraná
https://orcid.org/0000-0001-6265-4147

Natani Aparecida do Bem
Universidade Estadual de Maringá
Cianorte-Paraná
http://lattes.cnpq.br/2806759904471569

Elaine Regina Brito Maia
Universidade Estadual de Maringá
Cianorte-Paraná
http://lattes.cnpq.br/9986751014090122

RESUMO: O projeto de extensão Tecidoteca (acervos de bandeiras têxteis) vem contribuindo para o conhecimento dos estudos sobre os diversos materiais têxteis alinhando com o vestuário/moda. Disponibiliza fisicamente e *online* um acervo de bandeiras têxteis para consulta e pesquisa de profissionais nas áreas de moda, vestuário e têxtil, oferecendo suporte para um melhor entendimento das particularidades dos tecidos, malhas e não-tecidos. O objetivo deste artigo é analisar os dados do produto denim/*jeans*, por meio de testes específicos em laboratório têxtil, bem como contar cronologia histórica do denim/*jeans* até o que conhecemos atualmente, o *jeanswear*. A metodologia aplicada é quantitativa, os resultados foram obtidos por meio de ensaios no aparelho de dinamometria que determina a resistência dos tecidos à tração e ao alongamento. Para aplicar os testes utilizamos as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) adotadas pela indústria têxtil.

PALAVRAS-CHAVE: Jeanswear; Tecidoteca; Bandeiras Têxteis**.**

TEXTILE FLAG OF THE FABRIC LIBRARY: ANALYSIS BY DETERMINING TENSION STRENGTH AND ALLOCATION OF JEANSWEAR FABRIC

ABSTRACT: The Tecidoteca extension project (textile flag collections) has contributed to the knowledge of studies on the various textile materials in line with clothing/fashion. It makes available physically and online a collection of textile flags for consultation and research by professionals in the areas of fashion, clothing and textiles, offering support for a better understanding of the particularities of fabrics, knits and non-wovens. The objective of this article is to analyze the data of the denim/jeans product, through specific tests in a textile laboratory, as well as to tell the historical chronology of denim/jeans to what we know today, jeanswear. The methodology applied is quantitative, the results were obtained through tests in the dynamometry device that determines the resistance of the fabrics to traction and to stretching. To apply the

tests we used the norms of the Brazilian Association of Technical Norms (ABNT) adopted by the textile industry.
KEYWORDS: Jeanswear; Tecidoteca; Textile Flags.

1 I INTRODUÇÃO

Os têxteis desde sempre são considerados “[...] uma das mais antigas manufaturas do homem, pois, o homem entrelaçava as folhas de palmeiras, curtia e costurava as peles para usar no seu corpo, com o tempo e a transformação da matéria–prima, ele aprendeu a manusear a fibra e transformá-la em fios, tecidos, malhas e, por último, a fazer o acabamento” (VASQUES, 2018, p.28).

“É importante que aprendamos conhecer, entender conservar e organizar os têxteis como documento que possibilitem, por meio da análise e leitura, dominar a historicidade técnica e estética” (CHATAIGNIER, 2006, p.13). Todavia, “[...] dimensionar não apenas as associações espontâneas que a maioria das pessoas tem ao ‘ver’ um tecido, não tecido ou malha, mas suas particularidades como: composição, nomenclatura, fabricante/fornecedor, capacidade de proteção, análise da superfície do *design* têxtil, sua mensagem estética, segmento *wear* e conservação” (VASQUES; GOMES; FORTUNATO; PAIVA; BARCELOS; MENEGUCCI, 2013, p.109).

Vale ressaltar que o produto têxtil tem a função de reconhecer os diversos tipos de fibras existentes no mercado, estudar os conceitos e propriedades dos fios sabendo reconhecer os diferentes processos e os possíveis defeitos e adquirir embasamento técnico das matérias-primas para as indústrias da moda e vestuário a fim de serem utilizadas na produção e criação de uma roupa. Neste caso o tecido *jeanswear* em seu contexto histórico tem-se a origem da palavra “jeans” que vem da Itália na cidade de Gênova. Delfino (2005, p.14) comenta “voltando cinco séculos de história, no Século XVI, os marinheiros genoveses chamavam suas calças de trabalho de ‘Genes’, uma espécie de abreviação da palavra Genova. E ‘Genes’ falado com o forte sotaque italiano acabou virando Jeans”. O *jeans* torna-se democrático e jovem, como comenta (BUZIN; VASQUES; PINHEIRO; FORTUNATO; PAIVA; LOCATELLI, 2021, p.100),

> O jeans pode ser analisado como uma peça democrática, que abrange diversas classes e períodos, sendo facilmente encontrado no dia a dia de diferentes usuários. Uma pesquisa realizada pelo IBOPE em 2018 revela que os consumidores entrevistados possuem em média nove peças de jeans, evidenciando sua popularidade. Ao analisar a cronologia histórica do Denim, percebe-se que no século XIV era utilizado por trabalhadores que exigiam peças feitas de materiais mais resistentes e por consequência, comumente representados por mineradores e cowboys americanos.

O índigo blue é devido ao tingimento ser azul feito do corante índigo, desse modo, surgiu o termo Denim Índigo Blue, que originalmente eram tecidos pesados, de 14 oz

(onças) ou mais. Porém, o mercado acabou produzindo outras gramaturas como 5, 7, 9, 10, 11 e 12 onças e outras, para atender uma fatia maior de consumidores. “Onças ou oz é a medida de peso inglesa, que equivale a 28,34 gramas, e quando dizemos que um tecido tem 12 oz, queremos dizer que um metro quadrado de tecido pesa 12 oz, ou seja, 28,34x12 que é igual a 340,8 gramas por metro quadrado” (OLIVEIRA, 2008, p.24). Conta a história que,

> Há mais de 5000 anos atrás, na Índia, alguns métodos de tingimento já eram usados para a aplicação do pigmento insolúvel em água, índigo, sobre fibras naturais. O índigo natural foi obtido pela primeira vez a partir das plantas ***Indigofera*** e ***Isatis tinctoria***, sendo o produto azul, insolúvel em água, posteriormente dissolvido em cubas de madeira, através de um processo de fermentação natural conhecida como ***vatting.*** Essa foi a origem do nome corantes à cuba (do inglês, ***vat dyes***). Quimicamente falando, “vatting significa redução, sendo, portanto, os corantes à cuba também conhecidos pelo nome de corantes de redução (CUNHA ,1994, p.28).

Apesar do tingimento ter surgido como um corante natural, para suprir a demanda do mercado, os corantes de cunho sintético são mais utilizados pela praticidade, economia e rapidez que eles oferecem. “A estrutura química do índigo foi apresentada por Adolf von Bayer em 1883 e o produto sintético, colocado no mercado pela vez em 1897, pela BASF” (CUNHA, 1994, p.28).

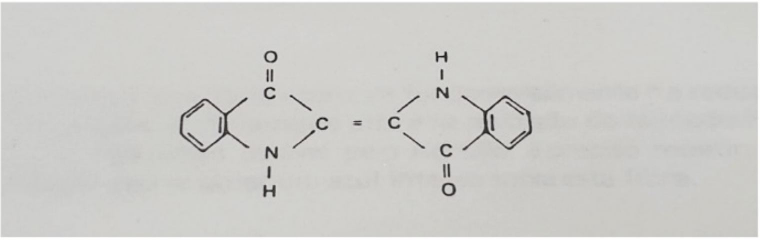


Figura 01 - Estrutura química do índigo.

Fonte: Cunha (1994).

Dessa maneira, percebe-se que a transformação de um tecido jeans tem suas particularidades, estruturas e histórias, atualmente na indústria têxtil na fabricação deste produto utiliza ligações 2x1 ou 3x1, comercialmente conhecida como sarja 2x1 ou sarja 3x1. “De um modo geral, o Denim resulta de uma trama branca e de um urdimento tinto. Se tingimos o urdume com corante índigo, o tecido resultante será um Índigo Denim Azul genuíno” (ESTEVES, 1994, p.42).

No geral a indústria têxtil procurou sempre desenvolver diversos processos de desbotamento/envelhecimento no Denim dentro das lavandeiras. O primeiro a ser produzido foi o “lixado” como comenta Esteves (1994, p.38).

> O primeiro processo que procurou das ao tecido um aspecto de envelhecimento precoce e que deu origem aos demais foi o denominado “lixado”, que consiste em passar o tecido, em aberto e de forma contínua, em equipamentos normalmente improvisados, providos de cilindros revestidos com material abrasivo (lixa fixada com cola em rolos de madeira).

Do século XIX para o século XX, muito foi experimentado, pesquisado e misturado com produto denim, em meados dos anos de 1970 a produção mundial alcançou: “500 milhões de calças texanas, mas, no primeiro trimestre de 1977, confirmaram-se as previsões: as vendas do ‘autêntico jeans’ deixaram de aumentar como de costume. O fator positivo detectado foi que o mercado se mostrou favorável à aquisição das calças vaqueiro de qualidade, mas com um volume quantitativo de tecido inferior” (ESTEVES, 1994, p.44). Cabe comentar que se entende:

> Texano, o material em que o urdimento tinto é tecido com trama crua. Vários estudiosos afirmam que o termo mais difundido é o ‘jeans’, que faz alusão à origem dos mesmos, isto é, ‘Genes’, que não significa outra coisa senão ‘Genova’. A princípio, foram marinheiros genoveses que fizeram o uso desse artigo. Outra denominação muito utilizada em países germânicos é ‘denim’. O ‘texano’ nada mais é do que uma variação da sarja de Nimes, isto é, um tecido pesado de algodão fabricado no século passado, na Provença. (MIRANDA, 1994, p.48).

Com essas definições e nomes que ao longo do tempo popularizou a calça *jeans*, temos o entendimento que ao se referir a tecido feito de trama e urdume, ou seja, a sarja tem o denim e quando a moda atualmente utiliza-se do nome *jeanswear*, está diretamente ligada à produção da calça jeans pronta para uso, ou seja, o *jeans.*

No “mundo azul” do Brasil, vale comentar sobre a importância da tecnologia aplicada ao jeans nos anos de 1970, o proprietário da marca Zoomp – Renato Kherlakian (2016, p. 172) fomenta: “O velho quatorze onças – denim original que usávamos nos anos de 1970 - não deu conta das demandas contemporâneas de uma sociedade que procurava o conforto, a versatilidade e a adaptação do tecido a todos os momentos de sua vida”. A indústria têxtil neste recorte de tempo inseriu o fio de elastano no tecido plano denim na calça jeans, geralmente 2% na inserção da trama e 98% no sentido do urdume.

> Já nos anos de 1970, a indústria têxtil passou a incorporar o fio de elastano no denim. Ao lado das leggings e das malhas colantes, as calças jeans supera justadas ao corpo passaram a fazer parte dos jovens nas discotecas, manifestações culturais e políticas daquela época. A partir daí, cada grande indústria denim transformou-se em um laboratório de experimentos, incorporando ao mundo azul avanços antes exclusivos de outros segmentos. Além da elasticidade, o velho blue jeans ganhou características que beiram a filmes de ficção cientifica (KHERLAKIAN, 2016, p. 172-173).

Neste tempo presente no que se refere à produção do *jeanswear*, há um avanço nas tecnologias e processos industriais, por exemplo, a fabricante Vicunha Têxtil, segundo os autores Buzin, Vasques, Pinheiro, Fortunato, Paiva e Locatelli (2021, p.103).

> Uma das maiores indústrias têxteis da área realizou pela primeira vez um cálculo levando em consideração todo o ciclo de vida de uma calça jeans, buscando analisar o consumo de água em sua fabricação. O cálculo foi realizado pelo programa Pegada hídrica, e segundo a empresa, obteve-se como resultado 5,196 litros de água por calça, sem considerar as lavagens pelo consumidor final.

Todavia, é fundamental analisarmos o produto jeanswear no sistema de produção, aliado as tecnologias, os processos e principalmente a sua quantidade de lavação e consumo de água utilizada na lavanderia.

2 I METODOLOGIA

A metodologia aplicada é quantitativa, os resultados são obtidos pelo ensaio do aparelho de dinamometria que determina a resistência dos tecidos à tração e ao alongamento, os integrantes do projeto realizar com corpos de prova específicos (*jeanswear* – Vicunha têxtil) no dinamômetro pelo método GRAB, baseado na norma NBR ISO 13934-2 (ABNT, 2016). O procedimento metodológico foi realizado é feito do seguinte modo: foram cortadas duas amostras do corpo de prova de 8 cm x 13 cm de comprimento, que foram posicionadas entre duas garras que irão impor nas amostras uma força de tração determinada até que haja o rompimento dessa. Em seguida, analisou-se o gráfico gerado pelo aparelho entre força, tração e alongamento; e determinou os valores de alongamento e deslocamento, em porcentagem. Além de utilizar outros aparelhos para o complemento das informações contidas na bandeira têxtil.

3 I RESULTADOS E CONCLUSÃO

As Figuras a seguir apresentam o resultado físico e *online* da pesquisa, a bandeira *Jeanswear*, seguida dos resultados do gráfico no ensaio de dinamômetro.

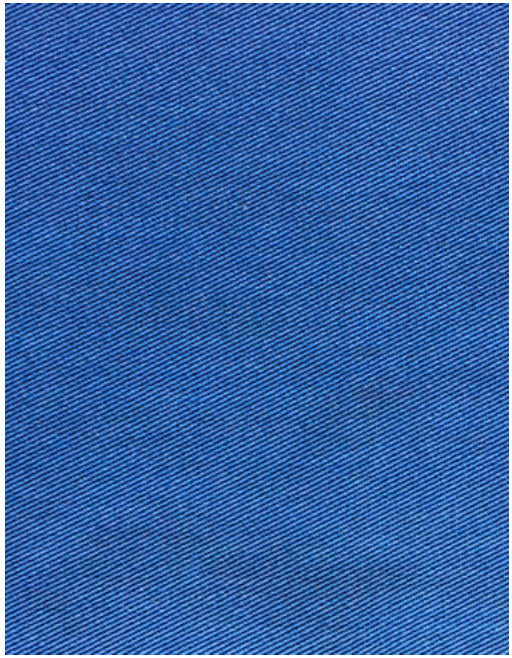


Figura 02 – Tecido da Bandeira têxtil *Jeanswear.*

Fonte: Autoria própria (2022).



Figura 03 – Cabeçalho da Bandeira têxtil *Jeanswear.*

Fonte: Autoria própria (2022).

tecidoteca
MODA UEM

FICHA TÉCNICA **BT: 041**

Artigo/ *Article*: Jeans Vicunha
Cor/ *Color*: Azul 18-4032 TPX (consulta feita no catálogo da Pantone®)
Fabricante/ *Manufacturer*: Vicunha Têxtil®
Composição/ *Fiber Composition*: 100% algodão
Densidade/ *Density*: Urdume: 28 fios/cm; Trama: 14 fios/cm (NBR 12060:1991)
Gramatura/ *Weight*: 325,82 g/m² (ASTM D3775-96)
Tipos de ligação/ *Types of weave*: Sarja 3x1
Resistência à tração/ *Tensile strenght*: 107,62 Kgf/mm (Dinamômetro ABNT 14727)
Largura/ *Widht*: 1,73 m
Encolhimento/ *Shrinkage*: Largura: -0,2%; Comprimento -1,2% (NBR 10320:1988)
Tipo de tecido/ *Fabric Types*:
(x) natural ( ) sintético ( ) artificial ( ) misto (x) plano ( ) não tecido ( ) malha
Pilling na superfície têxtil/ *Pilling*: Grau 4 – pilling leve (Norma europeia EN ISSO 12945-1:2000 tem a condição de norma britânica)
Toque sensorial/ *Sensory touch*: Áspero e duro
Método de construção/ *Method of contruction:* Tear convencional
Método de analise/ *Analysis method:* 500 x aproximações (conta fios eletrônico)

Cuidados para conservação/ *Saving Cares*:

SÍMBOLO/ *Symbol*	**DESCRIÇÃO/ *Description***
	Lavagem a mão – 40° *Handwash*
	Não alvejar *Do not bleach* Não secar em tambor *Do not dry in drum*
	Ferro máximo 110°, no vapor danos irreversíveis *Passing at most 110°, the steam causes irreversible damage*

Obs: Os testes das bandeiras têxteis foram realizados pelo projeto de extensão TECIDOTECA 2297/2009-DEX para o uso da comunidade acadêmica, sem nenhum fim comercial. Os resultados são de nossa responsabilidade, podendo divergir dos dados do fornecedor. Em caso de dúvidas entrar em contato: (44) 3619-4028.

Figura 04 – Informações técnicas da Bandeira têxtil *Jeanswear.*

Fonte: Autoria própria (2022).

Código: 000012 **Cliente:** TECIDOTECA

Ensaio: Determinação da resistência à tração e alongamento

Material: 100% CO

Umidade / Temperatura: 62% / 25°

Cél. carga: 200 Kgf.
Desloc.: 100 mm.
Veloc.: 100 mm/min.
Unid. medida: Kgf/mm²

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Valores médios
Pico máximo	110,30	110,30	105,70	107,30	104,50						107,62 Kgf.
Deslocamento	27,72	25,74	26,34	21,76	25,48						25,35 mm.
Área S. Reta	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00 mm²
Pico / ASR	11,03	11,03	10,57	10,73	10,45						10,76 Kgf/mm²
Alongamento %	277,20	257,40	263,40	217,60	254,80						253,50 %

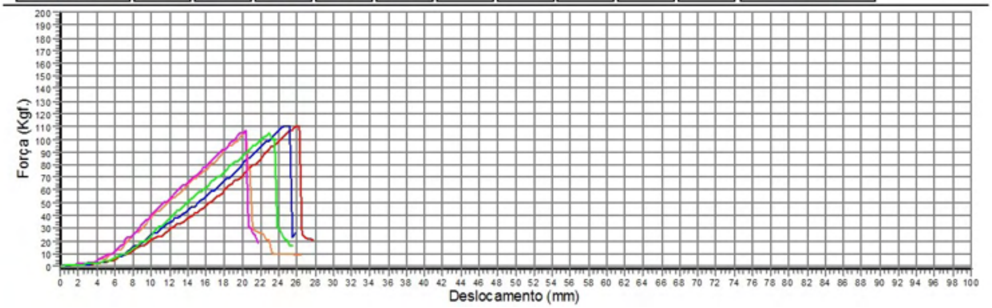


Figura 05 – Resultado do teste à tração e ao alongamento do *Jeanswear.*

Fonte: Autoria própria (2022).

tecidoteca
MODA UEM

Dados históricos dos têxteis: Denim / Jeans

O produto têxtil é um das mais antigas manufaturas do homem, pois desde sempre, o homem entrelaçava as folhas de palmeiras, curtia e costurava as peles para usar no seu corpo. Com o tempo e a transformação da matéria prima, ele aprendeu a manusear a fibra e transformá-la em fios, tecidos, malhas e, por ultimo, a fazer o acabamento (VASQUES, 2011, p. 28).

A História dos têxteis constrói, portanto, um diálogo permanente com o corpo, com a moda, com os usos e costumes e com o desenvolvimento tecnológico e cultural, redesenhando uma série de possibilidades na criação de volumes, linhas e também de cores que caracterizam as cenas cotidianas ou espetaculares construídas pela vida moderna. É importante que aprendamos conhecer, entender, conservar e organizar os têxteis como documentos que possibilitem, por meio da análise e da leitura, dominar sua historicidade técnica e estética. Assim estaremos criando uma documentação para pesquisar o mundo para o qual foi construído. Entender que o design têxtil se determina em diferentes fazeres de cada etapa do processo (CHATAIGNIER, 2006, p. 13).

Denim Índigo Blue (Jeans - a alquimia da moda, Gilberto José de Oliveira, p. 24, 2008)

O tecido índigo, que se destacou no sucesso das calças de Levi Strauss, era uma sarja diagonal, que era fabricada na cidade de Nimes, na França, e, na época, era conhecida como "Serge De Nimes" (tecido de Nimes) e o termo "De Nimes" popularozou-se como tecido "Denim", devido as regionalizações fonéticas americanas, que emendavam as palavras "de nimes", gerando o termo denim, que é como uma gíria para expressar "de nimes".

Índigo Blue é devido a ser azul feito de corante Índigo, então se montou o termo Denim Índigo Blue.

Originalmente eram tecidos pesados, de 14 *oz* ou mais, porém o mercado acabou produzindo outras gramaturas como 5,7, 9, 10, 11, 12 onças e outras, para atender uma fatia maior de consumidores.

Onças ou *oz* é a medida de peso inglesa, que equivale a 28,34 gramas, e quando dizemos que um tecido tem 12 *oz*, queremos dizer que um metro quadrado de tecido pesa 12 *oz*, ou seja, 28,34x12 que é igual a 340,08 gramas por metro quadrado de tecido.

Jeans (Jeans Tudo, p. 14)

A origem da palavra "Jeans" vem da Itália, mais precisamente da cidade portuária de Gênova. Voltando cinco séculos de história, no século XVI, os marinheiros genoveses chamavam suas calças de trabalho de "Genes", uma espécie de abreviação da palavra "Gênova". E "Genes" falado com o forte sotaque italiano acabou virando "Jeans". Contudo, a propagação da calaç jeans foi exclusivamente disseminada pelo cinema por meio dos atores James Jean e Marlon Brando.

Referencias:

CHATAIGNIER, Gilda. **Fio a fio:** tecidos, moda e linguagem. São Paulo: Estação das Letras Editora, 2006.

DELFINO, Raimundo. **Jeans tudo.** São Paulo, 2005.

OLIVEIRA, Gilberto José de. **Jeans:** a alquimia da moda. Vitória-ES, 2008.

VASQUES, Ronaldo Salvador. **A indústria têxtil e a moda brasileira:** a urdidura de novos conceitos e percepções do vestir na década de 1960. Dissertação, 157f. UEM/PPH, 2011.

Figura 06 – História do *Jeanswear* da Bandeira têxtil.

Fonte: Autoria própria (2022).

tecidoteca MODA UEM

SEGMENTO WEAR **BT: 041**

Sazonalidade/ *Seasonality:* ( ) Primavera/Verão (**x**) Outono/ Inverno

1. Jeanswear/ Denim Wear





2. Casual Wear



Fonte: Santista / Pinterest

Fonte: Santista

3. Utility Wear



Fonte: http://www.fredextintores.com.br/index.php?pg=nav/single&id=323

Figura 07 – Segmento *wear* do *Jeanswear* da Bandeira têxtil.

Fonte: Autoria própria (2022).

Como resultado tem se a colaboração para indústria da confecção e profissionais do setor nas especificidades de tecidos planos para o conhecido “chão de fábrica”, neste viés o projeto disponibiliza em seu acervo físico e *online*, a bandeira Jeanswear com resultados do gráfico no ensaio de dinamômetro, como pico, máximo com valor médio: 107,62 Kgf e alongamento de 253,50 %, além de outros resultados presentes na bandeira,

tais como: cor, fabricante, composição, densidade (ABNT, 2002), gramatura (ASTM D3775: 17e1:2017), tipo de ligação, largura, encolhimento (ABNT, 1988), toque sensorial, método de construção de análise por meio conta fios eletrônico (500 x aproximações).

Também foram obtidos como resultados nesta análise a identificação do segmento *wear*, bem como uma lauda com dados históricos do denin/*jeans*. Por fim, este artigo foi relevante para compreender as particularidades de um tecido jeans*wear*, seus usos, história e funções. E de tal modo, atingiu-se o propósito do projeto de extensão (Tecidoteca) que é auxiliar futuros pesquisadores que almejam pesquisar sobre os dados técnicos deste e de outros têxteis em questão, nos seus pormenores.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual de Maringá (UEM), Campus Regional de Cianorte (CRC), Departamento de Design e Moda (DDM), curso Bacharelado em MODA- habilitação em modelagem e desenvolvimento de produto e por fim ao Projeto de Extensão da UEM - TECIDOTECA (acervos de bandeiras têxteis).

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D3775:17e1**: Standard Test Method for End (Warp) and Pick (Filling) Count of Woven Fabrics. Pensilvânia, EUA: ASTM, 2017. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10320**: Materiais têxteis - Determinação das alterações dimensionais de tecidos planos e malhas - Lavagem em máquina doméstica automática - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1988. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12060 versão corrigida 2002**: Materiais têxteis - Determinação do número de carreiras/cursos e colunas em tecidos de malha - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 13934-2**: Têxteis - Propriedades de tração de tecidos: Parte 2: Determinação da força máxima utilizando o método grab test. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 10 p.

BUZIN, Maryanna Bevervanso; VASQUES, Ronaldo Salvador; PINHEIRO, Eliane; FORTUNATO, Fabrício de Souza; PAIVA, Márcia Regina; LOCATELLI, Priscila. Práticas sustentáveis e a indústria 4.0 no segmento jeanswear: investigação no corredor da moda (Cianorte-Maringá-Londrina). In: PUPPIM, Régis (org.). **Design**: contribuições significativas para o desenvolvimento sustentável. Ponta Grossa, PR: Ed. Atena, 2021. Cap.11, p.99-108. Disponível em: https://www.atenaeditora.com.br/post-ebook/4502 . Acesso em: 02 fev. 2022.

CHATAIGNIER, G. **Fio a fio:** tecidos, moda e linguagem. São Paulo: Estação da Letras, 2006.

CUNHA, da, Teixeira, Renato. Tingimento com índigo. In: SENAI. CETIQ. **Denim**: história, moda e tecnologia. Rio de Janeiro: SENAI/DN, 1994. (Série Tecnologia Têxtil).

DELFINO, Raimundo. **Jeans tudo**. São Paulo, 2005.

ESTEVES, Abrahão Fabius Torreã. Características do índigo denim. In: SENAI. CETIQ. **Denim**: história, moda e tecnologia. Rio de Janeiro: SENAI/DN, 1994. (Série Tecnologia Têxtil).

KHERLAKIAN, Renato. **Uns jeans ... uns não**. São Paulo: Ed. Senai-SP, 2016.

MIRANDA, Maria José de Simas. Denim: Texanos, Vaqueiros, jeans ou denim. In: SENAI. CETIQ. **Denim**: história, moda e tecnologia. Rio de Janeiro: SENAI/DN, 1994. (Série Tecnologia Têxtil).

OLIVEIRA, Gilberto José de. **Jeans**: a alquimia da moda. Vitória, ES: Tecjeans, 2008.

VASQUES, Ronaldo Salvador. **A indústria têxtil e a moda brasileira nos anos 1960**. 1.ed. Curitiba, PR: Appris, 2018.

VASQUES, Ronaldo Salvador; GOMES, Nadir da Rocha; FORTUNATO, Fabrício de Souza; PAIVA, Márcia Regina; BARCELOS, Silvia Mara Bortoloto Damasceno; MENEGUCCI, Franciele. Tecidoteca: o acervo de bandeiras têxteis da Universidade Estadual de Maringá (UEM). **ModaPalavra E-periódico**, Florianópolis, Ano 6, n.11, jan.-jun. 2013, p. 107 – 116. Disponível em: http://www.ceart.udesc.br/modapalavra/edicao11/tecidoteca_nadir_gomes.pdf. Acesso em: 10 abr. 2015.

SOBRE OS ORGANIZADORES

HENRIQUE AJUZ HOLZMANN - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

JOÃO DALLAMUTA - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre em engenharia elétrica pela UEL. Doutorando em Engenharia Espacial pelo INPE.

ÍNDICE REMISSIVO

A

B

C

D

E

V

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

ENGENHARIAS:

Criação e repasse de tecnologias



Atena
Editora
Ano 2022

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

ENGENHARIAS:

Criação e repasse de tecnologias



Atena Editora

Ano 2022